

**Радкевич М.В.**

**ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА  
НА ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ**

Ташкент – 2015

УДК 656.1:502/504

ББК 39.1

Монография написана по результатам исследований, проведенных в Ташкентском Автомобильно-дорожном институте и Ташкентском Институте ирригации и мелиорации. Посвящена вопросам мониторинга выбросов автомобильно-дорожного комплекса с учетом всех технологических процессов, происходящих в течение жизненного цикла автомобильных дорог. Анализируются существующие методы мониторинга и инвентаризации выбросов автомобильно-дорожного комплекса и возможности оценки выбросов по косвенному критерию. В качестве критерия оценки предложен показатель ровности дорожного покрытия.

Монография Тошкент Автомобил-йўллар институтида ва Тошкент ирригация ва мелиорация институтида бажарилган тадқиқотлар натижалари бўйича ёзилган. Монография автомобил-йўллар мажмуасининг ҳавога ташланмаларини автомобил йўлларининг “хаёт цикли” давомида ҳамма технологик жараёнларини ҳисобга оладиган мониторинг қилиш муаммоларига бағишланган. Автомобил-йўллар мажмуасининг ҳавога ташланмаларини мавжуд экан усуллар ва ташланмаларни четдан бўлган критерия ёрдамида баҳолаш имкониятлари таҳлил қилинади. Баҳолаш критерияси сифатида йўл қопланмасининг равошлик кўрсаткичи таклиф қилинган.

The monograph is written based on the results research conducted in Tashkent Automobile and Road Institute and the Tashkent Institute of Irrigation and Melioration. The monograph is devoted to the monitoring of auto-road complex emissions subject to the all the processes that occur during the roads' life cycle. Existing methods of monitoring and inventory of emissions by auto-road complex and the possibility of emission assessment by indirect criterion were analyzed. As an assessment criterion the evenness of the road covering is offered.

Ответственный редактор:

Доктор технических наук, профессор Салохиддинов А.Т.

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор Шахидов А.Ф.,

Доктор географических наук, профессор Чембарисов Э.И.

**ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

- АДК** – автомобильно-дорожный комплекс  
**АТС** – автотранспортное средство  
**ВВ** – вредные вещества  
**ДТП** – дорожно-транспортное происшествие  
**ДСМ** – дорожно-строительная машина  
**МГЭИК** – международная группа экспертов по изменению климата  
**НО** – нормативное обеспечение  
**ПИ** – передача информации  
**ОАД** – обследование автодорог  
**ОС** – окружающая среда  
**СИМ** – система инвентаризации и мониторинга  
**СПГ** – сжатый природный газ  
**ТО** – техническое обслуживание

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире наблюдается неуклонный рост автомобилизации. Мировой парк насчитывает более 660млн. автомобилей различных типов. Большое значение придается развитию автодорожного комплекса и в Республике Узбекистан. Президент РУз И.А. Каримов подчеркивает: «... большое место отводится приоритету опережающего развития дорожно-транспортной, коммуникационной инфраструктуры. .... ГАК «Узавтойул», республиканскому Дорожному фонду..... поручается принять действенные меры по безусловному выполнению намеченных параметров строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог и развития придорожной инфраструктуры» [2].

При всей важности развития автомобильно-дорожного комплекса не следует забывать, что автомобильный транспорт и предприятия транспортной инфраструктуры являются мощным источником загрязнения окружающей среды.

Конструктивные изменения, вводимые в современные автомобили (компьютерное управление процессом сгорания топлива, катализаторы и др.), а также применение альтернативных видов топлива не снимают проблемы загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом.

Ориентировочное представление о токсичности выхлопных газов можно получить на примере легковых автомобилей, работающих на бензине: на каждый километр пройденного пути выбрасывается 10,3г СО; 2,17г  $C_xH_y$ ; 2,25г  $NO_x$  и 150г  $CO_2$  [49]. О размерах ущерба, наносимого окружающей среде, можно судить по протяженности дорог: общая длина автомобильных дорог в Узбекистане превышает 183тыс. километров.

Автомобильный транспорт занимает одно из приоритетных мест в экономике Узбекистана.

Ежегодно автомобильным транспортом республики перевозится 600 млн. т груза. Длина автомобильных дорог общего пользования превышает 42,5 тыс. км. В последнее десятилетие

в Узбекистане усилилось внимание к строительству дорог, связывающих нашу страну с международными магистралями (дороги Андижан — Ош — Эргаштом — Кашгар и Термез — Герат — Карачи).

В настоящее время (данные на 2011г) в Узбекистане эксплуатируется около 1,6млн. автомобилей, из которых 78% (т.е. 1,248 млн.) составляют легковые автомобили. Количество грузовых автомобилей разных моделей и грузоподъемности составляет 73750 единиц.

В Узбекистане в год используется около 1,4...1,6млн.т. бензина и 1,5....1,8млн. т. дизельных топлив. Автомобили, эксплуатируемые в Узбекистане, в течение года выбрасывают примерно 8,9 млн.т. одного из основных парниковых газов – CO<sub>2</sub>. Увеличение количества автомобильного транспорта приводит к все большему загрязнению среды обитания жителей городов и придорожных областей крупных автомагистралей, а также способствуют процессу глобального потепления климата из-за выбросов большого количества парниковых газов.

Президент РУз И.А. Каримов неоднократно обращал внимание на необходимость защиты окружающей среды: «...должны быть, наконец, решены такие насущные для республики проблемы, как рациональное использование водных и земельных ресурсов..... Без решения этих и других проблем республику из предкризисного состояния не вывести. [3]», «Огромное значение для достижения целей, поставленных Декларацией тысячелетия, особенно в условиях современных аномальных природных изменений, приобретает защита экологии и сохранение окружающей среды. [1]»

Таким образом, на первый план выходит задача изыскания любых возможных путей снижения загрязнения окружающей среды (ОС) от выбросов автомобильного транспорта.

Конец XX – начало XXI в. в. ознаменованы переходом проблемы защиты окружающей среды от выбросов автомобильного транспорта на глобальный уровень. В последние десятилетия стало очевидно, что изменение климата на планете

в значительной мере связано с антропогенным воздействием. Автомобильный транспорт занимает не последнее место в этом процессе, т.к. автомобили выбрасывают значительное количество парниковых газов [26, 49, 109]. В настоящее время во многих странах проводятся работы по созданию моделей потепления климата. Для успешной работы в этом направлении прежде всего необходим учет поступающих в атмосферу газов, и в первую очередь, парниковых. Об актуальности этой проблемы говорит тот факт, что выбросы CO<sub>2</sub> транспортом в составе глобальных выбросов составляют 13% [31, 99] (по некоторым данным – 23% [80, 100, 108]). В Узбекистане выбросы от автотранспорта составляют от 67,8 % до 80 % от общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [6, 56].

Поэтому особое значение мировой научной общественностью придается выбросам парниковых газов и их инвентаризации [32, 43, 51, 102, 103, 112, 124, 125, 128, 131, 132].

Отчетность по выбросам парниковых газов становится обязательной для международных институтов, в частности для статистической отчетности Всемирного банка, Международного энергетического агентства, организаций системы ООН и т.п. [13, 23] Международное бизнес-сообщество также начинает требовать от различных организаций данные о выбросах парниковых газов, чтобы своевременно оценить связанные с ними потенциальные экономические и финансовые риски. Отчетность по выбросам парниковых газов планируется включить в новое поколение стандартов ISO, и эта работа уже активно ведется. Фактически отчетность о выбросах парниковых газов скоро будет такой же нормой, как оценка воздействия на окружающую среду и контроль за выбросами обычных загрязняющих веществ.

Парниковые газы не являются загрязняющими веществами в обычном понимании этого термина. В тех концентрациях, которые реально наблюдаются в атмосфере, они не оказывают прямого вредного влияния на здоровье человека или благополучие экосистем. Поэтому контроль ведется не за концентрацией

того или иного парникового газа около предприятия, а только за абсолютным значением выброса за достаточно длительное время — обычно за год. Не имеет значения, был ли это залповый выброс или постепенная эмиссия. Выброс за год — фактически вклад данного источника выбросов в глобальный парниковый эффект. Именно глобальный, так как парниковые газы долго “живут” в атмосфере, хорошо там перемешиваются, — и ни глобальный, ни региональный эффект не зависят от места выброса. Т.о. встает вопрос об организации инвентаризации и экологического мониторинга автомобильного транспорта.

Многообразие загрязнителей автотранспортной системы осложняет выбор методов их идентификации и организацию контроля. Необходимым условием построения экологического мониторинга является разработка инструментальных средств, обеспечивающих их успешное функционирование. К таким средствам относятся: математическое, информационное, методическое, организационное и другие виды обеспечения. Вопросы создания систем экологического мониторинга, их организационного и технического обеспечения рассматриваются в трудах Израэля Ю.А. и целом ряде других работ [11, 37, 38, 41, 67, 68, 74, 82, 86, 92, 93, 95, 96, 105, 106, 111, 113, 114, 116, 117, 119, 126, 127, 130], но применительно к транспортным системам эти вопросы проработаны недостаточно. При разработке методов постоянного контроля выбросов автотранспорта, обработки и анализа полученных данных следует учитывать его особенности по сравнению с другими источниками выбросов [29, 82]:

- объекты контроля территориально рассредоточены;
- разнородность объектов контроля;
- ресурсы контроля ограничены.

Организация экологического мониторинга на автомобильном транспорте позволит выявить причины неблагоприятного состояния и разработать меры по снижению воздействия на ОС, к которым можно отнести следующие: введение более жестких норм на контролируемые параметры, введение существенных

экологических налогов, перераспределение грузопотоков и т. п.

Вопрос в том – как подойти к осуществлению мониторинга. Очевидно, что нужно найти косвенные показатели, которые позволят быстро и достаточно надежно оценить количество выбрасываемых парниковых (и др.) газов. Главным источником выбросов является автомобиль, который неразрывно связан с дорогой, образуя т.о. систему «дорога- автомобиль».

Влияние дорожных факторов на количество выбросов токсичных веществ системы «дорога-автомобиль» исследовано пока недостаточно [49]. Учитывая необходимость контроля выбросов и недостаточность проработки методов его обеспечения можно считать, что проблема организации инвентаризации парниковых (и других) газов, а также экологического мониторинга системы «дорога-автомобиль» является актуальной. При этом необходимо подчеркнуть, что проблему инвентаризации парниковых выбросов от автомобильно-дорожного комплекса следует выделить особо, учитывая сложность оценки этих выбросов и недостаточную проработанность проблемы на данный момент.

Поскольку очевидно, что состояние дорожного покрытия оказывает значительное влияние на количество выбросов, можно предположить, что требуемый критерий оценки экологического состояния системы «дорога-автомобиль» следует искать среди показателей качества дорожного покрытия. Этой проблеме посвящена настоящая монография.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ АВТОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

## *1.1. Анализ существующих методов мониторинга и инвентаризации выбросов автодорожного комплекса*

### *1.1.1. Мониторинг*

По известному определению экологический мониторинг – информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов [61].

Задачами систем экологического мониторинга являются накопление, систематизация и анализ информации:

- о состоянии окружающей среды и его изменениях;
- об источниках и факторах воздействия на окружающую среду;
- о допустимости нагрузок на среду в целом и на ее отдельные компоненты;
- о существующих резервах биосферы.

В настоящее время основными методами мониторинга ОС придорожной зоны являются:

- инструментальный (с помощью газоанализаторов) замер концентраций вредных примесей;
- оценка состояния атмосферы в зоне дороги с помощью различных биоиндикаторов (приближенный метод).

Инструментальный метод мониторинга имеет ряд достоинств – точность, возможность экспресс-оценки состояния окружающей среды. По этой причине инструментальный мониторинг применяется достаточно часто, хотя для его правильной организации необходимо создание сети наземных измерений, которая должна включать в себя [60]:

- стационарные посты измерения;
- передвижные и стационарные лаборатории по состоянию

атмосферы, воды, почвы, снега;

- передвижные станции контроля выбросов и сбросов;
- инспекционные службы;
- службы получения данных от населения.

Таким образом, данный вид мониторинга достаточно сложен и кроме того, требует значительных затрат на установку и содержание постов контроля.

Биологический мониторинг рассматривается многими авторами [85, 117 и др.]

В работе [85] приводятся сведения о влиянии природно-климатических условий на уровень автотранспортного загрязнения придорожных территорий автомагистралей, рассматриваются различные биологические методы снижения этого загрязнения в сравнении с физико-химическими методами, а также принципы формирования искусственных экосистем на придорожных территориях и использование биоты как индикатора качества окружающей среды. В разделе «Применение биоиндикаторов для оценки устойчивости экосистем на придорожных территориях» для оценки загрязнения окружающей среды в качестве биоиндикаторов предлагается использовать как низшие растения - мхи, лишайники, так и высшие – хвойные породы, как наиболее чувствительные к промышленным и транспортным загрязнениям.

Однако использование биологического мониторинга для контроля экологического состояния придорожной полосы не представляется рациональным, т.к., во-первых, невозможно получить точные значения концентраций загрязняющих веществ, а во-вторых, каждый вид биоиндикаторов чувствителен к ограниченному количеству загрязнителей.

Оба эти метода не подходят для мониторинга парниковых газов, т. к.:

- 1) они достаточно долго удерживаются в атмосфере, и источник их поступления в атмосферу не известен,
- 2)  $\text{CO}_2$  не оказывает вредного воздействия на биоиндикаторы.

Воздействие автодорожного комплекса на окружающую среду описано многими исследователями. В большинстве своем эти работы посвящены изучению результатов воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду [12, 114, 126], живые организмы [133], изменение климата [109], а также разработке мер по снижению этого воздействия [103, 112].

Ознакомимся с состоянием мониторинга вредных веществ автодорожного комплекса в различных странах мира.

В работе [113] приведены данные об организации мониторинга автомобильных дорог в различных странах Европы и Америки за 2008-2011 годы. Из данной работы следует, что мониторинг ведется инструментальным способом, путем организации сети пунктов лабораторного контроля. Многие страны имеют национальные сети автоматических станций измерения для постоянного контроля качества воздуха.

EUROAIRKET (Европейская сеть контроля качества воздуха) включает ряд высококачественных станций воздушного контроля в Европе, базирующихся на таких национальных сетях, как Венгерская Система Контроля Качества Воздуха, Румынская Национальная Сеть Контроля Качества Воздуха или Швейцарская Национальная Сеть Мониторинга Воздушного Загрязнения (NABEL). Все эти станции производят длительные серии измерений загрязнителей воздуха с целью информирования общественности о качестве воздуха и его изменении во времени. В Швейцарии, например, контролирующая сеть состоит из станций контроля, размещенных по всей стране, и представляющих различные типичные уровни загрязнений. Этот контроль не является специфически дорожным, но в Швейцарии Федеральная дорожная служба участвует в его финансировании в части, относящейся к дорогам.

Из данного обзора можно заключить, что даже в развитых странах существуют определенные проблемы в вопросах экологического мониторинга окружающей среды. Цели кон-

троля не всегда ясны и результаты мониторинга не всегда правильно используются. Необходимо искать такие способы его проведения, которые дадут необходимые результаты при наименьших затратах.

### 1.1.2. Инвентаризация

**Инвентаризация** – это определение расчетным путем количества выбросов за определенный период (обычно за год).

В настоящее время существует два основных метода инвентаризации вредных выбросов автотранспортными средствами в атмосферу:

- по топливопотреблению;
- по суммарному пробегу АТС.

Инвентаризация ВВ по топливо потреблению [72]

1. Выброс  $i$  - го загрязняющего вещества автотранспортными средствами соответствующего расчетного типа определяется по формуле:

$$M_{ipj} = g_{ipj} \cdot Q_{pj} \cdot 10^{-3}, \text{ т} \quad (1.1)$$

где  $Q_{pj}$  - потребление моторного топлива  $p$ -го вида АТС  $j$ -го расчетного типа за определенный период, т

$g_{ipj}$  - удельный выброс  $i$ -го загрязняющего вещества АТС  $j$ -го расчетного типа при использовании  $p$ -го вида топлива, г/кг;

2. Выброс  $i$  - го загрязняющего вещества всеми типами АТС при использовании моторного топлива определенного вида  $M_{ip}$  рассчитывается по формуле:

$$M_{ip} = \sum_{j=1}^j M_{ipj}, \text{ т} \quad (1.2)$$

3. Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества всеми АТС при использовании всех видов моторного топлива (бензин, дизельное топливо, газ) рассчитывается по формуле

$$M_i = \sum_{p=1}^3 M_{ip}, \text{ т} \quad (1.3)$$

Для инвентаризации по этому методу необходимо иметь данные о топливопотреблении различных типов АТС.

Инвентаризация вредных выбросов по суммарному пробегу АТС [54, 72]

1. Выброс  $i$  - го загрязняющего вещества АТС соответствующего расчетного типа при движении по автодорогам рассчитывается по формуле

$$M_{ijl} = m_{Дijl} \cdot L_{jl}, \text{ т} \quad (1.4)$$

где  $m_{Дijl}$  – пробеговый выброс  $i$  -го загрязняющего вещества АТС  $j$  -го расчетного типа, г/км;

$L_{jl}$  - суммарный пробег АТС  $j$  -го расчетного типа, тыс. км.

2. Выброс загрязняющих веществ при движении АТС всех расчетных типов

$$M_i = \sum_{j=1}^j M_{ipl}, \text{ т} \quad (1.5)$$

В качестве исходных данных для расчета выбросов загрязняющих веществ необходимо иметь сведения о численности АТС и длине пробега. Численность легковых автомобилей, грузовых автомобилей, автобусов по маркам и моделям принимается в соответствии с количеством АТС, прошедших тех. осмотр и зарегистрированных по данным ГАИ. Среднегодовая длина пробега автомобилей различных типов принимается по статистическим данным. При проведении инвентаризации по суммарному пробегу также неизбежны ошибки: не учитываются влияние интенсивности движения, качество дорожного покрытия, проезд транзитных АТС.

Наибольшее распространение в мире для инвентаризации парниковых газов получила специально разработанная методика МГЭИК.

Международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) разработан документ «Руководящие принципы МГЭИК» (первая публикация в 1996г), в котором рассмотрены методы инвентаризации парниковых газов, выбрасываемых различными источниками, в т.ч. дорожным транспортом.

Эти методы в принципе не отличаются от описанных выше.

Рассмотрим более подробно основные положения «Руководящих принципов МГЭИК», касающиеся автомобильного транспорта [71, 108].

- Оценки выбросов автомобильного транспорта могут основываться на двух независимых наборах данных: проданное топливо и километраж транспортного средства. Если доступны оба набора данных, необходимо сопоставить результаты.

- Выбросы  $CO_2$  рекомендуется преимущественно рассчитывать по количеству проданного топлива, а  $CH_4$  и  $N_2O$  – по пройденному расстоянию.

- В зависимости от достоверности и информативности имеющихся данных инвентаризацию можно производить по трем уровням точности. Для каждого уровня точности определены коэффициенты выбросов.

Например, при расчете на I уровне выбросы  $CO_2$  определяются:

$$\text{Выбр. } CO_2 = \sum_a [\text{Топливо}_a \cdot EF_a], \quad (1.6)$$

где *Выбр.  $CO_2$*  – выброс углекислого газа, кг

*Топливо<sub>a</sub>* – количество проданного топлива, ТДж,

*EF<sub>a</sub>* – коэффициент выбросов (кг/ТДж), равный содержанию в топливе углерода, умноженному на 44/12,

*a* – вид топлива (бензин, дизельное топливо, газ и т.д.)

При расчете на более высоких уровнях коэффициент выбросов уточняется в зависимости от страны-производителя топлива. В документе «Руководящие принципы МГЭИК» имеется оговорка, что коэффициенты выбросов в развивающихся странах могут отличаться от принятых коэффициентов из-за некачественного топлива, особенностей дорог, возраста АТС, некорректности работы катализаторов и т.д.

Используются и другие методы инвентаризации вредных выбросов.

Так, в работе [124] представлены данные по инвентаризации выбросов автомобильного транспорта в Италии, выполненные с использованием программы COPERT [22].

COPERT представляет собой методологический инструмент и компьютерную программу для расчета выбросов, создаваемых дорожным транспортом. Расчет ведется для угарного газа, окислов азота и серы, твердых частиц и углекислого газа. Данная программа предназначена для получения точных данных о выбросах расчетным путем, для чего требует обширной и постоянно обновляемой базы данных о составе автомобильного парка страны, его пробеге и средней скорости, видах и количестве потребляемого топлива, метеорологических условиях, уклоне дороги, а также экологических стандартах, которым соответствуют транспортные средства. Эти требования чрезвычайно усложняют практическое использование программы. Кроме того, данной программой оценивается только воздействие движущегося по дорогам транспорта на окружающую среду, без учета воздействия остальных составляющих автомобильно-дорожного комплекса.

Недостатком описанных методов является то, что инвентаризация вредных выбросов производится для АТС в отрыве от дороги, в то время как они неразрывно связаны между собой, и рассматривать их следует совместно.

### ***1.1.3. Анализ методов инвентаризации выбросов автомобильно-дорожного комплекса по результатам мониторинга***

Как видно из приведенных материалов, как правило, результаты мониторинга не привязываются к проведению инвентаризации, т.е. мониторинг и инвентаризация проводятся независимо друг от друга. Нахождение нормативного показателя, позволяющего проводить инвентаризацию выбросов по результатам мониторинга значительно упростило бы задачу оценки количества выбросов.

Первые попытки найти критерии для проведения мониторинга с последующей инвентаризацией предприняты в работах [7, 80, 86, 95].

Работа [95] посвящена программам экологического мо-

нитинга транспортных инфраструктур Италии. Основное внимание уделено разработке территориальной информационной системы на базе программного обеспечения для проведения инвентаризации выбросов. Данные для ввода в программу предлагается брать из различных отчетов и других документов по мониторингу.

В работах [80, 86] рассматриваются вопросы мониторинга и инвентаризации выбросов транспортных средств при различных схемах организации зимнего содержания дорог. В данных работах достаточно глубоко раскрыта взаимосвязь выбросов автомобильного транспорта с состоянием дорожного покрытия, однако рассмотрено только зимнее содержание дорог.

В работе [7] установлена зависимость количества сожженного топлива от интенсивности движения и состава потока, ровности и коэффициента сцепления:

$$Q = CO \cdot N^{a_1} \cdot \alpha^{a_2} \cdot S^{a_3} \cdot \varphi^{a_4}, \quad (1.7)$$

Где  $Q$  – расход топлива, тыс.л./год·км;

$N$  – интенсивность движения, авт/сут,

$\alpha$  – доля легковых автомобилей в составе транспортного потока;

$S$  – ровность дорожного покрытия, см/км

$\varphi$  – коэффициент сцепления,

$a_1, a_2, a_3, a_4$  – коэффициенты, учитывающие влияние каждого фактора на общий расход топлива.

В данной модели расход топлива пересчитывается на «приведенную токсичность», выраженную в кгСО/сут. Данная модель непригодна для инвентаризации парниковых газов, и кроме того, не учитывает взаимосвязи движения автомобилей по некачественной дороге с дополнительными затратами топлива и материалов для ремонта дорог и автомобилей.

Как уже отмечалось, мониторинг и инвентаризация вредных выбросов от автомобильно-дорожного комплекса (система «дорога-автомобиль») должны проводиться с учетом состояния всего комплекса, т.е. состояния автомобилей и дорог.

## 1.2. Анализ состояния автомобильных дорог РУз

### 1.2.1. Общие сведения

Автомобильные дороги общего пользования закреплены за ГАК «Узавтойул» согласно Закону Республики Узбекистан «Об автомобильных дорогах» от 3 июля 1992 года. По состоянию на 22 апреля 2014 г. общая длина автомобильных дорог общего пользования составляет 42654 км, из них:

Международного значения – 3979 км

Государственного значения – 14069 км

Местного значения – 24606 км

По видам покрытия общая длина дорог распределяется следующим образом (табл. 1.1):

Табл. 1.1

Тип дороги	Вид покрытия				
	Цементобетонное	Асфальтобетонное	Черно-щебенчатое	Гравийное	Грунтовое
Международного значения 3979 км	254	2583	1044	98	0
Государственного значения 14069 км	91	7818	5690	175	295
Местного значения 4606 км	10	11185	11417	1353	641
ИТОГО 42654 км	355	21586	18151	1626	936
100%	0,822%	51,134%	42,315%	3,548%	2,181%

Приведённые данные показывают, что наибольшую часть составляют дороги с асфальтобетонным покрытием (51,134%).

Поэтому для дальнейших исследований выбраны дороги с асфальтобетонным покрытием.

В зависимости от интенсивности движения дороги подразделяются на 5 категорий. Ниже приведена *табл. 1.2*, включающая характеристики дорог по категориям (согласно ШНК 2.05.02 - 07).

**Табл. 1.2**

Категории	I	II	III	IV	V
Интенсивность движения, прив. ед./сут	>	6000 - 14000	2000 - 6000	200 - 2000	До 200
Число полос движения	4 и более	2	2	2	1
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,5	3	-
Тип дорожной одежды	Капитальный	Капитальный	Капит., облегч.	Капит., облегч., переходный	Облегченный, переходный, низший

Общая длина асфальтобетонных дорог (21586 км) по категориям распределяется следующим образом (*табл. 1.3*):

**Табл. 1.3**

Общая протяжённость, км	Протяжённость по категориям, км				
	I	II	III	IV	V
21586	1971	4921	4882	7342	2470

В период жизненного цикла дорог на них производятся определенные ремонтные работы.

### **1.2.2. Классификация работ по ремонту автомобильных дорог общего пользования.**

Поскольку в разных странах работы по ремонту дорог классифицируются по-разному, приведём классификацию, принятую в РУз. Виды ремонтов:

- капитальный ремонт;
- текущий ремонт;
- содержание.

Объёмы работ по конкретным дорогам и участкам автодорог, подлежащих тому или иному виду ремонта, и сроки их выполнения определяются путём сопоставления фактического состояния автодорог с установленными критериями для назначения соответствующего вида ремонта.

В настоящей работе исследованы закономерности количества вредных выбросов в период жизненного цикла дороги, т.е. в промежутке времени между строительством и капитальным ремонтом или между двумя капитальными ремонтами. Поэтому ниже рассмотрены только те виды работ, которые относятся к межремонтным срокам.

Текущий ремонт. К текущему ремонту автодорог в числе прочих относятся следующие работы по дорожным одеждам:

- восстановление изношенных верхних слоёв дорожных покрытий с обеспечением требуемой ровности и шероховатости;
- карточный ремонт покрытия длиной до 150 м на проезжей части;
- ликвидация колеи глубиной до 45 мм и других неровностей методами поверхностного фрезерования, укладки нового слоя покрытия или поверхностной обработки.

Содержание дорог. К работам по содержанию автодорог в числе прочих относятся следующие работы:

- заделка ям глубиной до 5 см, трещин, выбоин, колеи, исправление просадок. На ремонтные работы по содержанию дорог установлено ограничение: такие работы могут производиться не более чем на 5% площади. Если повреж-

дения занимают большую часть площади проезжей части, то требуется производить текущий ремонт.

### **1.2.3. Способы выполнения текущего ремонта**

Согласно нормативного документа МШН 24-2005 «Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог» для выполнения текущего ремонта предусмотрены следующие технологии:

- поверхностная обработка;
- укладка нового слоя асфальтобетона;
- термопрофилирование.

#### **1.2.3.1. Поверхностная обработка**

Технология устройства поверхностной обработки включает:

- очистку от пыли и грязи;
- розлив вяжущего (битума) автогудронатором (норма 0,5...1,1 л/м<sub>2</sub>);
- распределение щебня щебнераспределителем (норма 15...30 кг/м<sub>2</sub>);
- уплотнение черного щебня легким (5 – 6 т) катком за 5 – 6 проходов по одному следу;
- уплотнение черного щебня тяжелым пневмокатком (10 – 16 т) за 5 – 6 проходов по одному следу.

#### **1.2.3.2. Укладка нового слоя асфальтобетона отдельными участками**

Укладка нового слоя включает следующие операции:

- фрезерование;
- удаление изношенного слоя;
- транспортировка материала изношенного слоя;
- формирование нового слоя толщиной 3 см (укладка, укатка).

#### **1.2.3.3. Термопрофилирование**

Технология термопрофилирования основана на регенерации утраченных свойств покрытия. Основные операции термопрофилирования:

- разогрев покрытия;
- разрыхление его на глубину 2...5 см;

- планирование разрыхленной смеси (с добавкой или без добавки новой смеси);
- уплотнение.

В РУз в разное время применялись все перечисленные разновидности текущего ремонта. В настоящее время в основном применяется укладка нового слоя.

#### **1.2.4. Оценка транспортно – эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования**

При оценке состояния автомобильной дороги главным критерием являются транспортно-эксплуатационные показатели:

- ровность дорожного покрытия;
- прочность дорожного покрытия;
- безопасность движения транспорта;
- другие показатели (ровность обочин и откосов, состояние сооружений и др.).

В РУз принята балльная система оценки состояния автодорог, причем при определении балла каждому из вышеприведенных показателей присваивается коэффициент значимости. Наибольшее значение коэффициента значимости придается ровности покрытия (0,4).

В работе И.С. Садыкова [75] предлагается ввести в нормативные документы коэффициент значимости экологических требований, составляющий для дорог различных типов 7 – 10%.

Помимо баллов, определяющих общее состояние автомобильной дороги, установлены баллы, оценивающие ровность дорожного покрытия.

Каждое государство устанавливает свои оценки ровности дорог. В РУз ровность автомобильных дорог (см/км) определяется с помощью толчкомера ТХК – 2 [44]. Принятая система оценок приведена в таблице 1.4\* [57].

Табл. 1.4

№	Оценка	Баллы	Тип дорожных одежд		
			Капитальные усовершенствованные	Капитальные облегченные	Переходного типа
			Показания толчкомера, см/км**		
1	Отлично	5-4	60...70 (3,43...3,96)	80...90 (4,49...5,02)	230 (11,27)
2	Хорошо	4-3	71...100 (4,01...5,51)	91...140 (5,07...7,67)	231...320 (11,3...13,74)
3	Удовл.	3-2	101...110 (5,6...6,08)	141...210 (7,72...10,63)	321...460 (13,76...16,7)

\* В настоящее время нормы изменены [42]

\*\* В скобках указаны значения ровности в международных единицах IRI.

Между ровностью по толчкомеру S и по международной системе IRI существует зависимость [45]

$$IRI = 7,35 \cdot S^{0,25} - 17,35 \text{ при } S \geq 165 \text{ см/км} \quad (1.8)$$

$$IRI = 0,247 + 0,053 \cdot S \text{ при } S < 165 \text{ см/км} \quad (1.9)$$

По данным УзАвтоЙул средняя оценка ровности по Республике составляет 3,22. Этой оценке соответствуют значения ровности:

- для капитальных усовершенствованных дорожных одежд - 93,4 (5,2);

- для облегченных - 129 (7,08).

Некоторые участки дорог имеют более низкую ровность [76].

### **1.3. Характеристики транспортного потока по данным УзАвтойул**

#### **1.3.1. Интенсивность движения и состав потока.**

Преобладающая интенсивность движения на дорогах РУз составляет 0,5...5000 тыс. авт/сут (по данным Управления эксплуатации ГАК «Узавтойул» 2012 г).

Показатель роста интенсивности движения  $q$  составляет 1,04.

В *таблице 1.5* приведены данные «Ташкентавтоуул», полученные в результате наблюдений за дорогами областного значения Ташкентской области, проведенных в 4-м квартале 2012 г. в 169 учетных пунктах.

**Табл. 1.5**

Тип АТС	Масса, кг	Доля в общем потоке, %
Пассажирский	<2500	23...45
	2500-5000	15...25
	Более 5000	3...11
Грузовой	<3500	8...22
	3500- 12000	8...16
	Более 12000	5...15

#### **1.3.2. Виды используемого топлива.**

Для приведения в движение автомобильного транспорта РУз используются бензин, дизельное топливо, а также сжатый и сжиженный газ. По данным ГАИ, 12,5% всех автомобилей газовые, остальные – бензиновые и дизельные в равных долях.

#### **Выводы**

Учитывая необходимость контроля выбросов и недостаточность методов его обеспечения, можно считать, что решение проблемы организации инвентаризации газов, а также экологического мониторинга системы «дорога-автомобиль», базирующегося на косвенном показателе состояния дорожного покрытия, имеет важное значение.

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДА ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ АВТОДОРОЖНЫМ КОМПЛЕКСОМ ПО ПАРАМЕТРАМ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

### *2.1. Выбор критерия для инвентаризации выбросов АДК*

Поскольку состояние дорожного покрытия оказывает существенное влияние на характер работы двигателя автомобилей, критерий оценки экологического состояния при проведении мониторинга с последующей инвентаризацией будем искать среди показателей состояния дорожного покрытия.

Состояние дорожного покрытия обуславливает скорость автомобиля, от которой, в свою очередь, зависит расход топлива и соответственно количество выбросов. К показателям состояния покрытия, от которых зависит скорость автомобиля, относятся сцепные качества и ровность [7, 75]. Влияние сцепных качеств сказывается главным образом в зимний период. Поскольку в РУз продолжительность периода с минусовой температурой невелика, можно считать, что ровность покрытия является фактором, обуславливающим колебания количества выбросов автомобилей при прочих равных условиях.

Таким образом, одним из источников увеличения вредных воздействий автотранспорта на ОС являются неровности дорог. Очевидна необходимость нахождения связи между состоянием дорожного покрытия и степенью воздействия автотранспорта на окружающую среду. При этом необходимо учитывать, что жизненный цикл дорог включает их содержание и ремонт, которые направлены на поддержание нормативной ровности дорожного покрытия. При выполнении ремонтов также происходит загрязнение атмосферного воздуха.

С одной стороны очевидно:

высокая ровность – высокая скорость АТС – снижение расхода топлива – снижение выбросов.

– низкая ровность покрытия – низкая скорость АТС – повышение расхода топлива – увеличение выбросов.

С другой стороны:

– высокие требования к ровности дорожного покрытия приводят к дополнительным выбросам при производстве ремонтных работ и производстве материалов для этих ремонтов

– низкие требования к ровности связаны с увеличением выбросов при эксплуатации и ремонте АТС.

Т.о. необходимо произвести многокритериальную оптимизацию [9, 30, 34, 63], при которой в качестве факторов учитываются выбросы

от движущегося потока АТС (от Евро 1 до Евро 3 и выше);  
при производстве текущего ремонта дорог;  
при производстве ремонтных работ по содержанию дорог;  
при производстве ТО и ремонта автомобилей;  
при производстве топлива для движения АТС;  
при производстве материалов для ремонта автомобилей;  
при производстве материалов для текущего ремонта дорог;  
при производстве материалов для ремонтных работ по содержанию дорог.

## **2.2. Анализ взаимосвязи «ровность дорожного покрытия – движение автотранспортного потока – выбросы в ОС»**

Для решения задачи многокритериальной оптимизации, необходимо сначала определить все вышеуказанные факторы, т.е. произвести инвентаризацию выбросов в атмосферу в течение жизненного цикла автомобильных дорог. Для этого требуется установить корреляционную зависимость загрязнения окружающей среды от ровности дорожного покрытия. Прежде всего обратим внимание на те изменения, которые претерпевают дороги, автомобили и система «дорога - автомобиль» в целом в период эксплуатации.

**Дорога.** Задача дороги – обеспечивать определенную скорость транспортного потока. Для этого она должна обладать достаточной ровностью покрытия. Чтобы поддерживать ровность на должном уровне в течение срока службы дороги,

необходимо определенное количество ремонтов, что, в свою очередь, связано с определенным, постепенно возрастающим количеством выбросов.

Предлагается следующая цепочка рассуждений:

1. Дорога сдана в эксплуатацию с определенной ровностью покрытия.

2. Снижение ровности происходит с течением времени в зависимости от интенсивности движения и климатических условий по определенному закону.

3. Эксплуатационную (допустимую) ровность покрытия можно задавать в некоторых пределах (от «удовлетворительно» до «отлично») по принятым нормам оценок [42, 57].

4. В зависимости от задаваемой допустимой ровности изменяется необходимое количество текущих ремонтов дороги. Очевидно, чем выше требования к ровности покрытия, тем чаще потребуются текущие ремонты.

5. Задавая срок службы дороги (продолжительность ее жизненного цикла), можно определить количество вредных выбросов, происходящих в течение этого времени за счет ремонтов (работа дорожно-строительных машин (ДСМ), производство материалов и т.п.).

6. Поскольку в эксплуатации одновременно находятся дороги с разной степенью износа, целесообразно при инвентаризации вредных выбросов учитывать среднегодовые значения выбросов для каждого типа дорог.

### ***Автомобиль.***

1. Известно, что количество выбросов автомобиля в значительной степени зависит от скорости его движения.

2. Для каждого типа автомобилей существует такая скорость движения, при которой двигатель работает в оптимальном режиме, при этом расход топлива и количество выбросов минимальны.

***Система «дорога – автомобиль».*** Взаимодействие автомобиля и дороги заключается в следующем:

1. Автомобиль, двигаясь по дороге, разрушает её и при этом

разрушается сам. Т.е. чем ниже ровность, тем больше страдает автомобиль, тем чаще для него требуются ТО и ремонты, что также связано с дополнительными выбросами.

2. Чем выше ровность покрытия, тем больше скорость, тем меньше выбросов (до некоторого предела скорости) при движении АТС.

Т.о. понимание закономерностей зависимостей между состоянием покрытия и выбросами автотранспортных потоков даст возможность:

1. Производить инвентаризацию вредных выбросов системы «дорога-автомобиль», опираясь на данные о ровности покрытия и интенсивности транспортного потока;

2. Организовать систему мониторинга вредных выбросов, которая позволит не только фиксировать их количество, но и сможет служить инструментом воздействия на дорожные службы в случае превышения выбросов и тем самым способствовать снижению количества вредных выбросов.

Зависимость скорости АТС от ровности дорожного покрытия очевидна: чем ниже ровность, тем меньше скорость автомобиля. С другой стороны, чем ниже скорость, тем больше расход топлива и, следовательно, большее количество вредных веществ (ВВ) выбрасывается в атмосферу. Опубликовано большое количество экспериментальных данных, подтверждающих эти зависимости. Однако отсутствует математическое выражение, описывающего зависимость количества выбросов от ровности покрытия. Поскольку автомобиль является основным источником выбросов системы «дорога-автомобиль», сделаем предположение, что по характеру зависимости количества выбросов одиночного автомобиля от ровности покрытия можно судить о зависимости количества выбросов всего комплекса от ровности.

### ***2.3. Установление взаимосвязи между ровностью покрытия и скоростью автомобиля***

Используя рассуждения Говорущенко Н.Я. для установления зависимости возможной скорости автомобиля от ров-

ности должного покрытия [28], автором получено выражение:

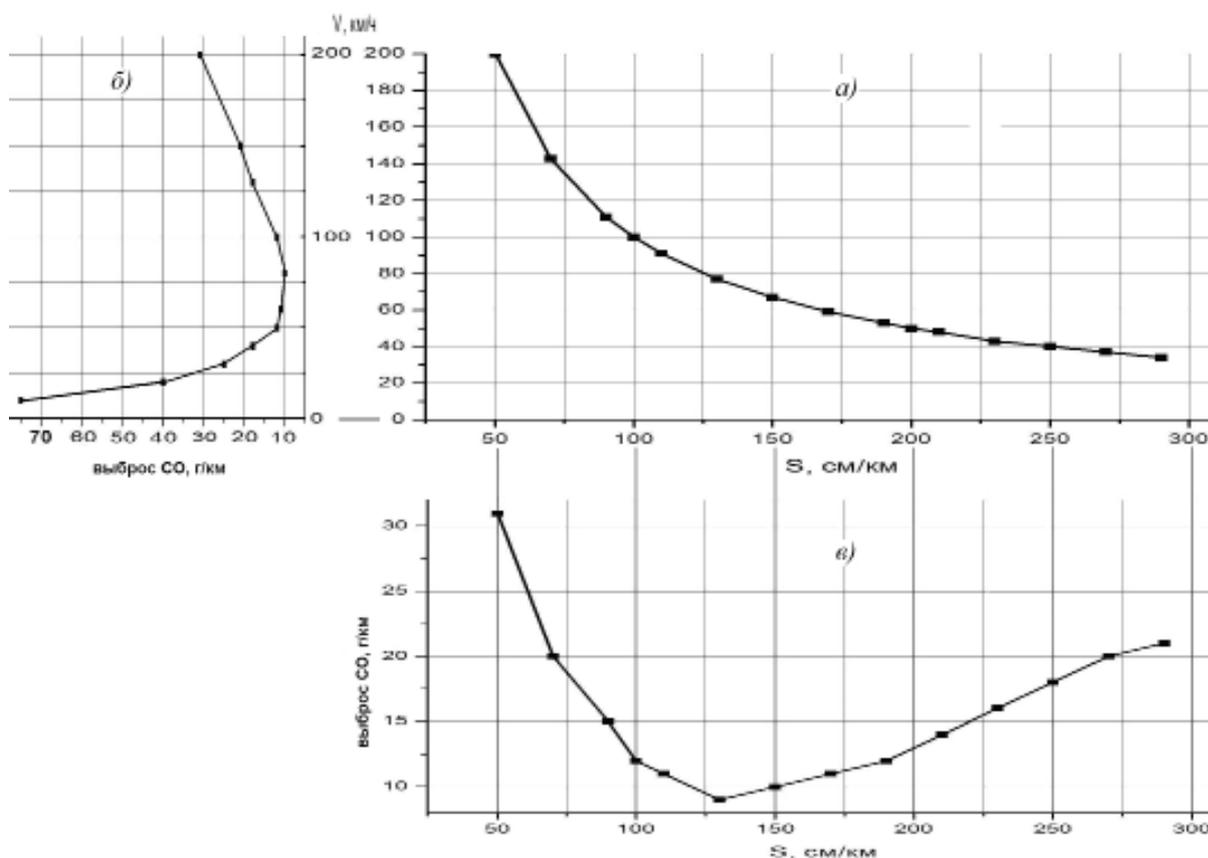
$$V_a = 3,6 \cdot 10^3 \frac{\sigma_z \cdot M}{S \cdot c} \quad (2.1)$$

где  $\sigma_z$  – вертикальное ускорение кузова, м/с<sup>2</sup>;

$M$  – масса автомобиля, кг;

$S$  – ровность покрытия, см/км;

$c$  – сопротивление в амортизаторах, Н·с/м



**Рис. 2.1.** Графики зависимостей:

- а) – допустимой скорости автомобиля от ровности покрытия;
- б) – количества выбросов СО от скорости автомобиля;
- в) – количества выбросов СО от ровности покрытия

Полученное уравнение показывает, что между скоростью и ровностью дорожного покрытия существует обратно-пропорциональная зависимость. Приняв для легковой машины ускорение = 1 м/с<sup>2</sup>;  $M = 200$  кг;  $c = 7000$  Н·с/м, построим кривую по уравнению (2.1), (рис. 2.1, а).

Полученную кривую рассмотрим совместно с кривой,

изображающей зависимость количества выбросов (на примере СО) от скорости движения легкового автомобиля (рис. 2.1, б) [19, 21, 48, 49, 75]. В результате можно получить график зависимости количества выбросов от ровности дорожного покрытия (рис. 2.1, в).

На основании изучения полученного графика, можно сделать следующие выводы:

- для каждого типа автомобилей существует некоторая ровность покрытия, при которой удельные выбросы (г/км) вредных веществ будут минимальными (рис. 2.1, в).

- имея графики «S – V» и «V – выброс газа» для каждого типа АТС, можно определить количество вредных выбросов при любом значении ровности покрытия.

Эти выводы позволяют расширить формулировку цели настоящего исследования:

1. Найти такую ровность дорожных покрытий, при которой выбросы движущегося потока АТС будут минимальными, с целью предложения внесения корректив в нормативные документы по оценке ровности.

2. Предложить систему инвентаризации выбросов и мониторинга ОС в зоне автомобильной дороги, по фактическому состоянию дорожных покрытий.

Учитывая неизбежность возникновения неточностей из-за принимаемых допущений, а также сложность получения зависимостей удельных выбросов от скорости движения для каждого типа автомобилей, приходим к выводу, что для решения поставленной задачи целесообразно обратиться к экспериментальным данным.

Изучив большое количество опубликованных данных, были составлены вариационные задачи для получения численных значений выбросов при различных значениях допустимой ровности покрытий, причем в условиях задач учтены не только выбросы АТС, но и выбросы, связанные с ремонтом дорог и АТС, а также с производством необходимых материалов.

#### **2.4. Предпосылки для создания нормативной базы**

### **инвентаризации и мониторинга выбросов системы «дорога-автомобиль»**

Установленная в разделе 2.3 зависимость выбросов от состояния дорожного покрытия дает основание предполагать возможность использования этой зависимости для проведения мониторинга выбросов системы «дорога-автомобиль», а также последующей инвентаризации вредных веществ по результатам мониторинга.

Для разработки структуры и стратегии инвентаризации и мониторинга можно воспользоваться общепринятым целевым принципом [45, 77, 78], суть которого заключается в формировании главного целевого функционала с последующей его дифференциацией на основные целевые подфункционалы и детализацией на конкретные задачи.

Главный целевой функционал представляет собой формулирование главной цели системы инвентаризации и мониторинга (СИМ).

Главной целью СИМ является организация действенного механизма, позволяющего выработать рациональную стратегию и реализовать наиболее эффективные пути достижения высоких конечных результатов по инвентаризации и мониторингу ВВ и предотвращению превышений выбросов из-за неудовлетворительного состояния дорог. Главная цель может быть дифференцирована на основные цели, которым соответствуют следующие подсистемы:

1. Подсистема нормативного обеспечения (НО).
2. Подсистема обследования автодорог (ОАД).
3. Подсистема передачи информации (ПИ).

Укрупненная структура СИМ может быть представлена в виде функционально замкнутого круга (рис.2.2)

Используя принцип системности [35], требования которого заключаются в определении объектов управления по подсистемам и информационных связей между ними, можно сформулировать основные цели по под системам и поставленные в них задачи.



*Рис. 2.2. Схема укрупненной структуры системы инвентаризации и мониторинга*

1. Основной целью под системы НО является нормативное обеспечение системы инвентаризации и мониторинга по контролируемым параметрам, основными задачами под системы О являются:

1.1. Формирование нормативной базы для проведения инвентаризации вредных веществ

1.2. Обоснование требований к состоянию покрытий автодорог с точки зрения экологии.

1.3. Формирование нормативной базы для осуществления экологического мониторинга.

Поясним некоторые основные задачи подсистем.

К п. 1.1: Нормативной базой для проведения инвентаризации должны являться нормы количества выбросов при движении АТС, техническом обслуживании (ТО) и ремонте АТС, ремонте дорог, производстве необходимых для этих целей топлива и материалов, составленные для современного состояния автомобильного парка и уровня технологии ремонтов и производства топлива и материалов. Эти нормы должны регулярно (не реже, чем 1 раз в 5 лет) пересматриваться и корректироваться. Должна быть разработана методика пересчета нормативных данных для различных значений

ровности дорожного покрытия. В настоящей работе в качестве исходных данных для составления нормативных уравнений приняты нормы выбросов при движении АТС, при работе ДСМ [72], статистические и расчетные данные по выбросам при ремонте АТС и дорог, а также при производстве топлива и материалов [49].

К п. 1.2: Как указывалось ранее, между количеством выбросов и ровностью покрытия существует определенная зависимость, причем, существует ровность, при которой выбросы минимальны. Поэтому требования к состоянию покрытия с точки зрения экологии должны быть такими, чтобы ровность была максимально приближена к оптимальной .

К п. 1.3: Нормативная база для осуществления экологического мониторинга – это система оценок ровности, принятая в РУз [42, 57]. Если по этому документу ровность оценивается как удовлетворительная, то и количество выбросов должно быть признано удовлетворительным. Этот документ также должен пересматриваться по мере совершенствования технологии строительства и ремонта дорог

2. Основной целью под системы ОАД является обеспечение своевременного информирования об экологической ситуации в зоне влияния автодорог на ОС.

Основные задачи ОАД:

2.1. Обследование сети автомобильных дорог.

2.2. Формирование банка данных о транспортно-эксплуатационном состоянии дорог.

Обследование сети автомобильных дорог – это в данном случае мониторинг, в задачи которого входит определение ровности покрытия, интенсивности движения и состава потока (порядок проведения мониторинга описан в главе 4)

Полученные при проведении мониторинга данные должны накапливаться и систематизироваться для дальнейшей обработки.

3. Основной целью под системы ПИ является передача информации о количестве парниковых и других газов в

регистрирующие организации, а также передача информации о превышении количества вредных выбросов из-за неудовлетворительного состояния дорожных покрытий управляющим организациям автодорог и получение от них ответной информации о сроках и способах ликвидации нарушений.

Основные задачи ПИ:

3.1. Обработка данных, полученных ОАД.

3.2. Определение ущерба ОС.

3.3. Формирование банка данных о количестве выбрасываемых парниковых и других газов.

3.4. Передача информации о превышениях ВВ в Узавтойул с предупреждением о санкциях.

3.5. Получение от Узавтойул информации о сроках и способах ликвидации нарушений.

К п. 3.1: При обработке данных, полученных при проведении мониторинга, определяется количество выбросов по фактической ровности. Выбросы распределяются по категориям (например, парниковые газы; газы, загрязняющие ОС придорожной зоны и т.п.). Определяется превышение выбросов на участках дорог, где ровность имеет оценку «плохо».

К п. 3.2. Ущерб ОС определяется в денежном выражении (Нормативные документы по расценкам ущерба в РУз отсутствуют)

К п. 3.3. Данные о выбросах должны накапливаться для периодической статистической обработки.

Поскольку настоящая работа посвящена главным образом разработке нормативной базы для проведения инвентаризации ПГ (и др. газов), рассмотрим возможный путь решения этой задачи:

1. Изучается изменение состояния дорожного покрытия в период жизненного цикла дороги при разных интенсивностях движения при различных способах ремонта.

2. Изучается состояние транспортного потока в зависимости от ровности дорожного покрытия: скорость, изменение количества выбросов потока в зависимости от скорости.

3. Определяется частота ТО и ремонтов АТС в зависимости от ровности дорожного покрытия и от скорости движения.

4. По данным о количестве выбросов при движении АТС, ремонте дороги и АТС, при производстве топлива и материалов, производится инвентаризация выбросов.

Решение поставленной задачи инвентаризации выбросов осуществлено методом численного эксперимента.

Для изучения перечисленных проблем подобраны математические модели процессов, а также использованы данные исследований НИИАТ, НАМИ, лаборатории МАДИ ТУ, КаздорНИИ, Узавтойул и др.

### **Выводы**

Полученная зависимость выбросов автомобиля от ровности дорожного покрытия дает основание предполагать, что ровность может служить косвенным показателем загрязнения окружающей среды автодорожным комплексом, т.е. показателем, подлежащим измерению при проведении мониторинга, который позволит оценить состояние окружающей среды, осуществить инвентаризацию и определить превышение количества выбросов по отношению к допустимому.

## ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБРОСОВ СИСТЕМЫ «ДОРОГА-АВТОМОБИЛЬ» МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

### 3.1. Исходные данные для численного эксперимента

Численный эксперимент был проведен для получения модели, позволяющей определять количество выбросов парниковых (и других) газов на дорогах общего пользования по фактической ровности покрытия, определенной по результатам мониторинга.

Эксперимент включает 9 этапов для дорог с капитальным типом дорожных одежд и 5 этапов для дорог с облегчённым типом. Каждому этапу соответствует различная интенсивность движения. В каждом этапе 4-6 вариантов допустимой ровности покрытия. В качестве текущих ремонтов, используемых для поддержания допустимой ровности, рассмотрены 3 варианта

- поверхностная обработка
- термопрофилирование
- укладка нового слоя асфальтобетона

Срок службы дороги принят 18 лет для дорог с капитальным покрытием и 12 лет для дорог с облегчённым типом.

Исходная ровность после строительства или капитального ремонта дороги принята  $IRI = 3$  м/км.

Допустимая ровность задана от 3,5 IRI и выше (от 60 см/км по толчкомеру). В соответствии с принятой в Узбекистане системой оценок ровности в период эксплуатации дорог 60 – отлично [42, 57].

При определении состава потока использована классификация АТС, принятая в странах ЕС (табл. 3.1). Коэффициенты приведения приняты в соответствии с нормативным документом ШНК 2.05.02-07 «Автомобильные дороги».

Каждая из 6-и подгрупп АТС разделяется по виду топлива бензиновые (В), дизельные (Д), работающие на сжатом природном газе (СПГ).

Таблица 3.1

## Классификация АТС и коэффициенты приведения

Группа АТС	Полная масса, кг	Коэффициент приведения К
<b>Пассажирские</b>		
М1	До 2500 до 8 мест	1
М2	2500...5000 более 8 мест	1,2
М3	Более 5000 более 8 мест	1,3
<b>Грузовые</b>		
Н1	До 3500	1,65
Н2	3500...12000	2,2
Н3	более 12000	3

На основании табл. 1.5 для эксперимента принят следующий состав потока:

М1 - 35% от общего количества, из них ВМ1 - 50%, СПГМ1 -15%, ДМ1 -35%

М2 - 20% ВМ2 - 40%, СПГМ2 -20%, ДМ2 -40%

М3 - 10% ДМ3 - 100%

Н1 - 15% ВН1 - 40%, СПГН1 -25%, ДН1- 35%

Н2 - 10% ВН2 - 20%, СПГН2 -10%, ДН2- 70%

Н3 - 10% ДН3 - 100%

В эксперименте в составе потока принято 50 % автомобилей Евро-0 и 50% Евро- 3 и выше.

В табл. 3.2 и 3.3 приведена принятая для эксперимента на основании данных Узавтойул перспективная (в конце срока службы) интенсивность движения.

Табл. 3.2

*Интенсивность движения для дорог с капитальным типом покрытия*

№ этапа	Интенсивность движения		Протяженность, км
	авт/сут	прив. ед./сут	
1	1000	1488	2467
2	2000	2976	1230
3	3000	4464	1230
4	4000	5952	1240
5	5000	7440	1241
6	6000	8928	1240
7	7000	10416	1240
8	9000	13392	596
9	10000	14880	596

Табл. 3.3

*Интенсивность движения для дорог с облегчённым типом покрытия*

№ этапа	Интенсивность движения		Протяженность, км
	авт/сут	прив. ед./сут	
1	500	744	1233
2	1000	1488	1234
3	2000	2976	820
4	3000	4464	820
5	4400	6547	820

Показатель роста интенсивности движения для эксперимента принят  $q = 1,04$

### **3.2. Выбор базовых моделей и условий для проведения численного эксперимента по исследованию параметров дорог.**

Выбор базовой модели прогнозирования ровности дорог.

Существует множество моделей прогнозирования ровности, выражающих ее зависимость от большого количества факторов [45, 75], что неизбежно приводит к накоплению погрешностей.

В настоящей работе принята модель прогнозирования

ровности, которая базируется на предположении, что состояние покрытия выражается функцией одной переменной – срока службы, и дает достаточно точные результаты [58]:

$$IRI(t) = IRI_0 \cdot \exp(bt), \quad (3.1)$$

где  $IRI(t)$  – прогнозируемая ровность при возрасте покрытия  $t$ , лет,

$IRI_0$  – среднее значение ровности в начальный момент времени при  $t_0$ ,

$b$  – параметр модели, зависящий от климатических условий и конструкции дорожных одежд

На основании наблюдений, проведенных КаздорНИИ, параметр  $b$  определен для участков дорог Ю. Казахстана и прилегающих районов Узбекистана (табл. 3.4, 3.5) [45]

**Таблица 3.4**

*Параметр «b» для дорог с капитальным усовершенствованным покрытием с начальной ровностью  $IRI_0 = 3$*

Средне- годовая интенсив- ность движения, авт/сут	703	1406	2109	2812	3515	4218	4921	6327	7030
$b$	0,041	0,056	0,067	0,071	0,081	0,084	0,089	0,0897	0,09

**Таблица 3.5**

*Параметр «b» для дорог покрытием облегченного типа с начальной ровностью  $IRI_0 = 6$*

Средне- годовая интенсив- ность движения авт/сут	400	800	1600	2400	4000
$b$	0,051	0,068	0,074	0,077	0,082

### **Выбор модели для определения выбросов при ремонтных работах, относящихся к содержанию дорог.**

Поскольку 80 % затрат на ремонтные работы при содержании дорог приходится на ямочный ремонт [45], в эксперименте учитываются выбросы ВВ, происходящие при производстве только ямочного ремонта. Доля среднегодовой площади покрытия, на которой должен быть произведен ямочный ремонт в процентах от всей площади проезжей части, изменяющаяся во времени, определяется по формуле [16, 45]:

$$P(t) = 0,0057 t^2 + 0,059 t + 1,14 \quad (3.2)$$

где  $t$  – год службы дорожной одежды.

Выбросы происходят непосредственно при производстве ямочного ремонта от работы дорожно-строительной техники, а также при производстве материалов, необходимых для ремонта. Количество выбросов рассчитывается в зависимости от площади, подлежащей ремонту, по данным [16, 70].

Определение выбросов при текущем ремонте дороги

В эксперименте рассмотрены 3 разновидности текущего ремонта дорог:

- поверхностная обработка;
- термопрофилирование двух разновидностей (с добавкой и без добавки асфальтобетона);
- укладка отдельных участков (100 м на 1 км) верхнего слоя асфальтобетона.

Выбросы, как и в случае ремонтных работ, относящихся к содержанию дорог, происходят при работе дорожно-строительной техники и при производстве материалов для ремонта [25, 49, 70, 91].

Учет выравнивающего эффекта ремонта дороги

Выравнивающий эффект – изменение ровности в результате ремонта. Описывается уравнением [45]:

$$IRI_n = a + b \cdot IRI_\phi, \quad (3.3)$$

$$(S_n = a + b \cdot S_\phi)$$

где  $IRI_\phi$ ,  $IRI_n$  – соответственно фактическая ровность

дорожного покрытия и ровность после проведения ремонтных мероприятий. В скобках  $S$  – ровность по толчкомеру, см/км

$a$  и  $b$  – параметры уравнения, зависящие от вида дорожно-ремонтных работ (табл. 3.6)

Табл. 3.6

Параметры уравнения (3.3)

Вид ремонтного мероприятия	Параметры уравнения	
	$a$	$b$
Одиночная поверхностная обработка	0,928 (16,21)*	0,72
Термопрофилирование и укладка нового слоя	0,495 (7,39)	0,58

\* в скобках приведены значения для ровности  $S$  по толчкомеру

### 3.3. Выбор базовых моделей и условий для проведения численного эксперимента по исследованию выбросов от АТС

Учет изменения скорости АТС в зависимости от ровности

Модель прогнозирования скорости АТС в зависимости от ровности дорожного покрытия необходима для определения скорости потока автомобилей при любом состоянии ровности дорожного покрытия. Такая модель получена на основании эксперимента, поставленного в КазДорНИИ [45]:

$$V = V_0 (1 - \alpha_s \cdot S) m_0 - \Delta V, \quad (3.4)$$

где  $V$  – средняя скорость движения транспорта в зависимости от ровности покрытия,

$V_0$  – средняя скорость свободного движения транспорта на участке дороги с продольным уклоном не более 20 ‰ и ровностью по толчкомеру до 30 см/км, км/ч. Для общего потока транспорта  $V_0 = 72,12$  км/ч.

$\alpha_s$  – параметр уравнения, зависящий от марки автомобиля, км/см. Для общего потока транспорта  $\alpha_s = 8,26 \cdot 10^{-4}$  км/см.

$m_0$  – поправочный коэффициент на снижение скорости за счёт погодных условий. Для Узбекистана  $m_0 = 0,91 \dots 0,95$

$S$  – показание толчкомера, см/км.

$\Delta V$  – поправка для учета влияния интенсивности движения  $N$  на скорость транспортного потока

Для 2-х и 3-х полосных дорог

$$\Delta V = 2,09 \left( \frac{N}{1000} \right)^{0,73} \beta^{1,4}$$

Для 4-х полосных дорог

$$\Delta V = 2 \left( \frac{N}{1000} \right)^{0,7} \beta^{1,5}$$

$\beta$  – коэффициент, учитывающий состав транспортного потока  $\beta=0,5 \dots 0,7$  (доля грузовых автомобилей и автобусов)

***Прогнозирование количества выбросов АТС в зависимости от скорости.***

Количество выбросов автомобиля в значительной степени зависит от его скорости.

Причем оптимальная скорость, которая соответствует минимальному расходу топлива и соответственно минимальному количеству большей части выбросов, для различных типов автомобилей различна. Так, по данным [49], для некоторых легковых автомобилей такой минимум достигается при 80 км/ч. Испытания автобуса ISUZU M37 СП «Самавто» показали, что минимальный расход топлива этой машины регистрируется при 50 км/час [55].

Приведенные данные показывают, что разброс показателей «скорость – минимальный расход топлива» достаточно велик. Поэтому представляет сложность определение количества выбросов в автотранспортном потоке.

Для проведения расчетов загрязнения атмосферного воздуха автотранспортными потоками предложена методика [54], по которой выброс какого-либо вещества  $m_x$ , входящего в состав выхлопных газов, определяется по формуле:

$$M = \sum_1^n m_i N_i K_v, \text{ г/(км}\cdot\text{сутки)} \quad (3.5)$$

где  $m_i$  – пробеговый выброс данного вещества автомобилем  $i$ -го типа, г/км•авт [53, 54, 72];

$N_i$  – суточное количество автомобилей  $i$ -ой группы, авт/сут;

$K_v$  – поправочный коэффициент, учитывающий изменения количества вредных веществ в зависимости от скорости движения транспортного потока (табл. 3.7)

**Табл. 3.7**

*Значения поправочного коэффициента  $K_v$*

Скорость $V$ , км/ч	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
$K_v^*$	1,35	1,28	1,2	1,1	1	0,88	0,75	0,63	0,5	0,3	0,45	0,5	0,65

*\*Для оксидов азота  $K_v$  принимается равным 1.*

Изменение выбросов вредных веществ в атмосферу при ремонте и обслуживании АТС в зависимости от их эксплуатации на дорогах с различной ровностью

Срок службы и экономичность АТС напрямую зависит от состояния автомобильных дорог.

Наиболее адекватным показателем дорожных условий для целей оценки влияния на износ подвижного состава является ровность покрытия. Интенсивный износ автомобиля происходит именно на неровных участках дорог, что связано с такими факторами износа, как механические деформации узлов и агрегатов автомобиля при преодолении неровностей, работа двигателя в нестационарном режиме и т.п.

В качестве показателя, характеризующего дорожные условия для целей оценки интенсивности износа АТС, по данным [90], может служить коэффициент суммарного сопротивления дороги.

При сопоставлении интенсивности износа автомобиля (без учета износа шин) и расчетных значений коэффициента суммарного сопротивления дороги для соответствующих дорожных условий получена зависимость степенного вида [90], описываемая уравнением:

$$K_{исп} = 36,39\psi^{-0,267}, \quad (3.6)$$

где  $\psi$  - коэффициент суммарного сопротивления дороги [16, 70]:

$$\psi = 0,01 + 10^{-6} \cdot 0,7 \cdot S \cdot V^2 \quad (3.7)$$

где  $V$  – скорость автомобиля, м/с,

$S$  – ровность по толчкомеру, см/км.

Снижение процента использования ресурса автомобиля на неровных дорогах приводит к необходимости более частых ремонтов и обслуживаний АТС, что в свою очередь приводит к дополнительным выбросам вредных веществ в атмосферу.

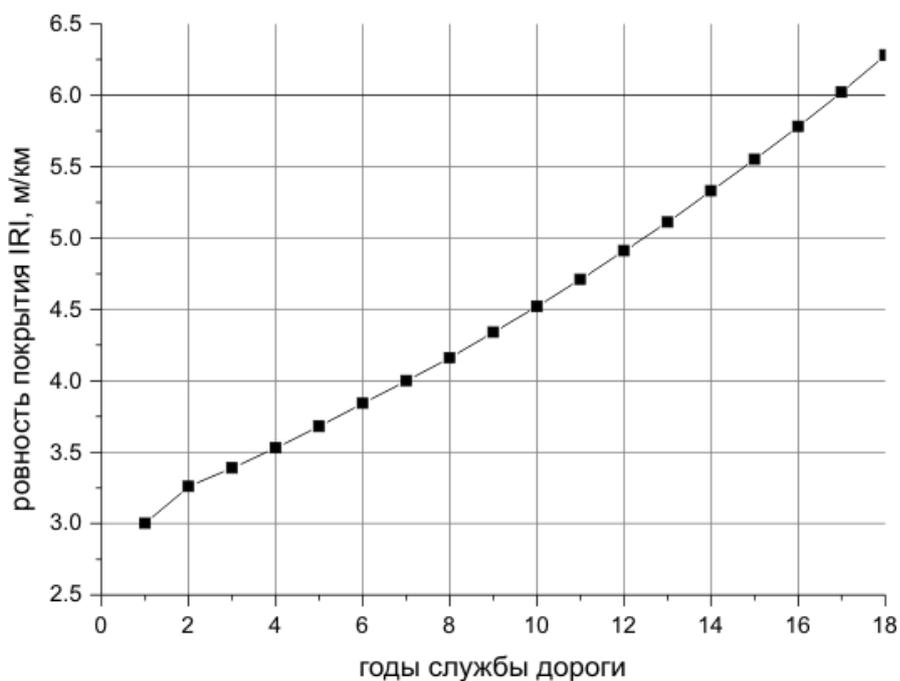
Если, например, ресурс АТС на неровной дороге используется на 90%, можно считать, что количество ремонтов и ТО увеличивается в  $100/90 = 1,11$  раз, соответственно в 1,11 раз увеличивается и количество выбрасываемых в атмосферу веществ.

Принимая за основу данные о количестве выбросов при выполнении ТО и ремонте некоторых типов АТС на каждые 1000км пробега [49], и имея данные об увеличении количества ТО и ремонтов, можно ориентировочно определить зависимость выбросов при ТО и ремонте от ровности дорожного покрытия. В [49] приводятся данные о количестве выбросов при производстве топлива и материалов для движения и ремонта АТС.

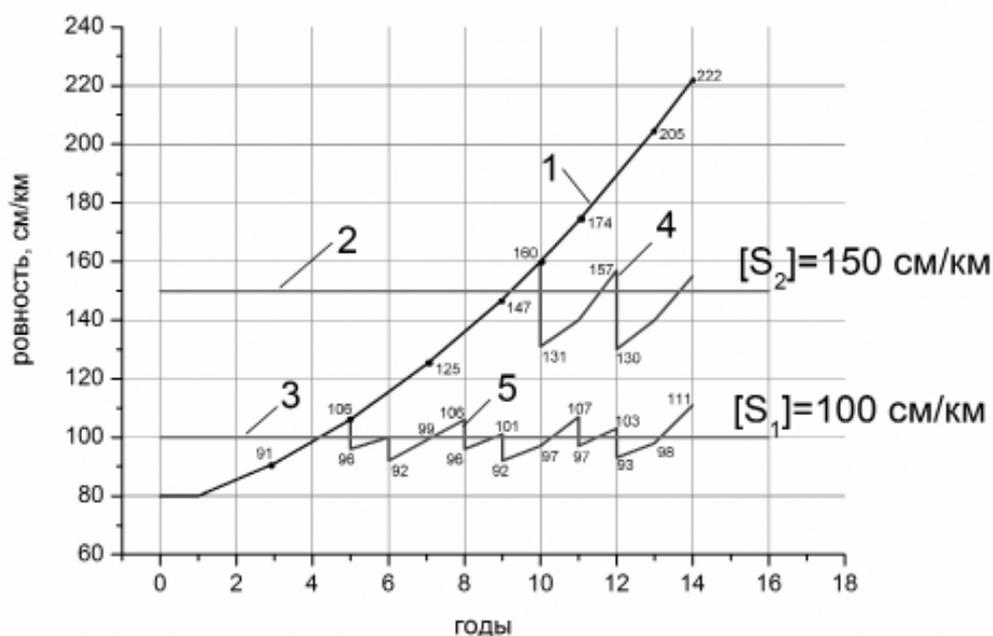
Итак, имея все перечисленные зависимости, можно определить количество вредных выбросов при любой ровности дорог. В качестве «критерия благополучия» следует брать ровность покрытия, которой присваивается оценка «удовлетворительно» и выше. В случае если ровность неудовлетворительна, можно говорить о превышении выбросов.

### **3.4. Порядок проведения численного эксперимента**

1. При помощи уравнения (3.1) и табл. 3.2 определяется ровность покрытия по годам службы без проведения текущего ремонта (рис.3.1).



**Рис. 3.1.** Изменение ровности покрытия за срок службы дороги (без текущих ремонтов) при интенсивности движения 1000 авт/сут



**Рис.3.2.** График изменения ровности дороги по времени службы

- 1 – кривая изменения ровности дороги без ремонта;  
 2, 3 – заданная минимально допустимая ровность;  
 4, 5 – кривые изменения ровности дороги при поддержании ровности на уровне 150см/км и 100 см/км соответственно

2. Назначаются варианты допускаемых значений ровности.

3. В том году, в котором значение ровности начинает превышать допустимое, назначается текущий ремонт (например, поверхностная обработка).

4. По уравнению (3.3) определяется ровность после ремонта, а также находятся её значения в последующие после ремонта годы. Приблизённо принимается, что характер кривой ровности после ремонта не меняется.

5. Когда кривая ровности вновь достигает допустимого значения, назначается следующий текущий ремонт и т. д. до конца срока службы дороги (рис. 3.2). Такая процедура повторяется для каждого значения допустимой ровности.

6. Определяется среднегодовая суточная интенсивность движения, которая разбивается по типам автомобилей в соответствии с п. 3.1.

7. Для каждого варианта допустимой ровности по годам службы покрытия определяется:

- скорость движения потока по уравнению (3.4);
- количество каждого вещества, выделяющегося в составе выхлопных газов для каждого типа АТС по формуле (3.5) и табл. 3.7. Пробеговый выброс принимается по [72];
- коэффициент использования ресурса автомобиля  $K_{исп}$ , % для каждого соответствующего ровности значения скорости движения по формулам (3.6 и 3.7) (коэффициенты величиной более 100 % принимаются равными 100%). Отношение номинального (100% - ного) использования ресурса к фактическому является коэффициентом увеличения количества ТО и ремонтов АТС и соответственно коэффициентом увеличения количества выбросов при ТО и ремонте АТС;
- количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при ТО и ремонте каждого типа АТС. За основу принимаются данные, приведенные в [49];
- количество топлива, использованного для движения транспортного потока для каждого типа АТС [72], и соответственно количество вредных выбросов при производстве

полученного количества топлива;

- количество конструкционных и эксплуатационных материалов на ремонтно – восстановительные нужды автомобилей с учетом запчастей (без учета шин) по данным лаборатории МАДИ ТУ [49]. Коэффициенты увеличения расхода материалов из-за снижения ровности дороги приняты такими же как при определении количества ТО и ремонтов;

- количество вредных выбросов при производстве конструкционных и эксплуатационных материалов [49] для каждого типа автомобилей.

8. С помощью уравнения (3.2) определяется площадь дороги, подлежащая ремонтным работам, относящимся к содержанию дорог для каждого года эксплуатации дороги (для каждого этапа).

9. По производительности дорожно-строительных машин определяется необходимое время их работы и соответствующий расход топлива [70]. По полученному расходу топлива определяется выброс вредных веществ [25, 49].

10. Определяется расход топлива на производство текущих ремонтов дорог [16, 70]. По полученному расходу топлива определяется выброс вредных веществ.

11. Определяется расход материалов на производство ремонтных работ, относящихся к содержанию дорог, а также для текущих ремонтов дорог [70]. Определяется количество вредных выбросов при производстве топлива и материалов для проведения ремонтов дорог [49].

12. В каждом этапе для каждого варианта определяется суммарное за время службы дороги и среднегодовое количество каждого вредного вещества, выделяющегося в атмосферу.

### **3.5. Результаты численного эксперимента**

В результате эксперимента получены общее (за срок службы дороги) и среднегодовое количество вредных выбросов при:

- движении автомобилей;
- ТО и ремонте автомобилей;

- производстве топлива для движения АТС;
- производстве материалов для ТО и ремонта АТС;
- ремонтных работах, относящихся к содержанию дорог;
- текущем ремонте дорог;
- производстве топлива для ДСМ при ремонтных работах, относящихся к содержанию дорог;
- производстве топлива для ДСМ при текущем ремонте дорог;
- производстве материалов для ремонтных работ, относящихся к содержанию дорог;
- производстве материалов для текущего ремонта дорог.

К вредным выбросам отнесены:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ ,  $\text{NO}_x$ , твердые частицы.

Все выбросы разделены на следующие группы :

1. Парниковые газы;
2. Выбросы в придорожной зоне;
3. Локальные загрязнения

Парниковые газы учитываются от всех источников выбросов, перечисленных выше; к выбросам в придорожной зоне отнесены выбросы движущихся автомобилей, а также выбросы дорожно-строительных машин при производстве ремонтов дорог; к локальным загрязнениям отнесены выбросы при производстве ТО и ремонтов АТС, а также при производстве топлива и материалов.

Распределение выбросов по источникам показано на примере парникового газа  $\text{CO}_2$  для 6-го этапа (табл. 3.8, 3.9).

Данные, приведенные в таблицах 3.8, 3.9, показывают, что при повышении ровности покрытия выбросы, связанные с движением и обслуживанием АТС, уменьшаются, а связанные с ремонтами дорог увеличиваются. Однако, выбросы, относящиеся к АТС, значительно превышают выбросы, относящиеся к дороге.

Подобным образом распределяются локальные загрязнения, а также выбросы в придорожной зоне.

Табл. 3.8

*Выбросы CO<sub>2</sub> (т/км) при движении и обслуживании АТС при N=6000 авт/сут, (текущий ремонт дороги поверхностная обработка)*

IRI допустимое	Выхлоп АТС	ТО и ремонт АТС	Производство топлива для движ. АТС	Производство материалов для ТО и ремонта АТС	Сумма за 18 лет	Среднегодовой выброс
14	5009,207	1298 ,844	829,178	131 ,457	7268,7	403,8
10,5	4735 ,745	1288,42	783,913	130,401	6938,5	385,5
8	4412,425	1247,29	730,389	128,976	6540,1	363,7
6	4134,616	1235,646	684,403	125,062	6179,7	343,3
5	3993,799	1220,562	661,094	123,534	5999,0	333,3
4	3960 743	1188,131	655,621	120,256	5821,8	329,2

Табл. 3.9

*Выбросы CO<sub>2</sub> (т/км) при обслуживании дорог при N= 6000 авт/сут, (текущий ремонт дороги поверхностная обработка)*

IRI доп.	Ремонт при содержании дороги	Текущий ремонт	Производство топлива для ремонта при содержании	Производство топлива для текущего ремонта	Производство материалов для ремонта при содержании	Производство материалов для текущего ремонта	Сумма за 18 лет	Среднегодовой выброс
14	22,95	0	3,578	0	15,882	0	42,4	2,4
10,5	22,554	0,4507	3,517	0,0703	15,608	2,6141	44,8	2,5
8	22,424	0,6761	3,496	0,1054	15,518	3,9212	46,1	2,6
6	21,104	1,1269	3,291	0,1757	15,129	6,5353	47,4	2,63
5	21,862	1,5776	3,409	0,246	14,928	9,1494	51,2	2,8
4	21,571	2,2537	3,363	0,3514	14,604	13,0706	55,2	3,1

### **3.6. Обработка результатов численного эксперимента**

#### **3.6.1. Статистическая обработка результатов эксперимента**

1. На примере  $\text{CO}_2$  (ремонт – поверхностная обработка) проведен 2-х факторный дисперсионный анализ [33, 69]:

Фактор А – ровность (4, 6, 8, 10 IRI);

Фактор Б – интенсивность движения (3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 9000 авт/сут при каждом значении ровности). В качестве повторностей взяты выбросы:

- 1) выхлопных газов АТС,
- 2) при ТО и ремонте АТС,
- 3) при производстве топлива,
- 4) при производстве материалов для ТО и ремонтов.

2. Выполнен 1-факторный анализ «ровность - выбросы» для каждой интенсивности движения.

Дисперсионный анализ показал статистическую достоверность зависимости количества выбросов автотранспортного комплекса (АТК) от ровности дорожного покрытия.

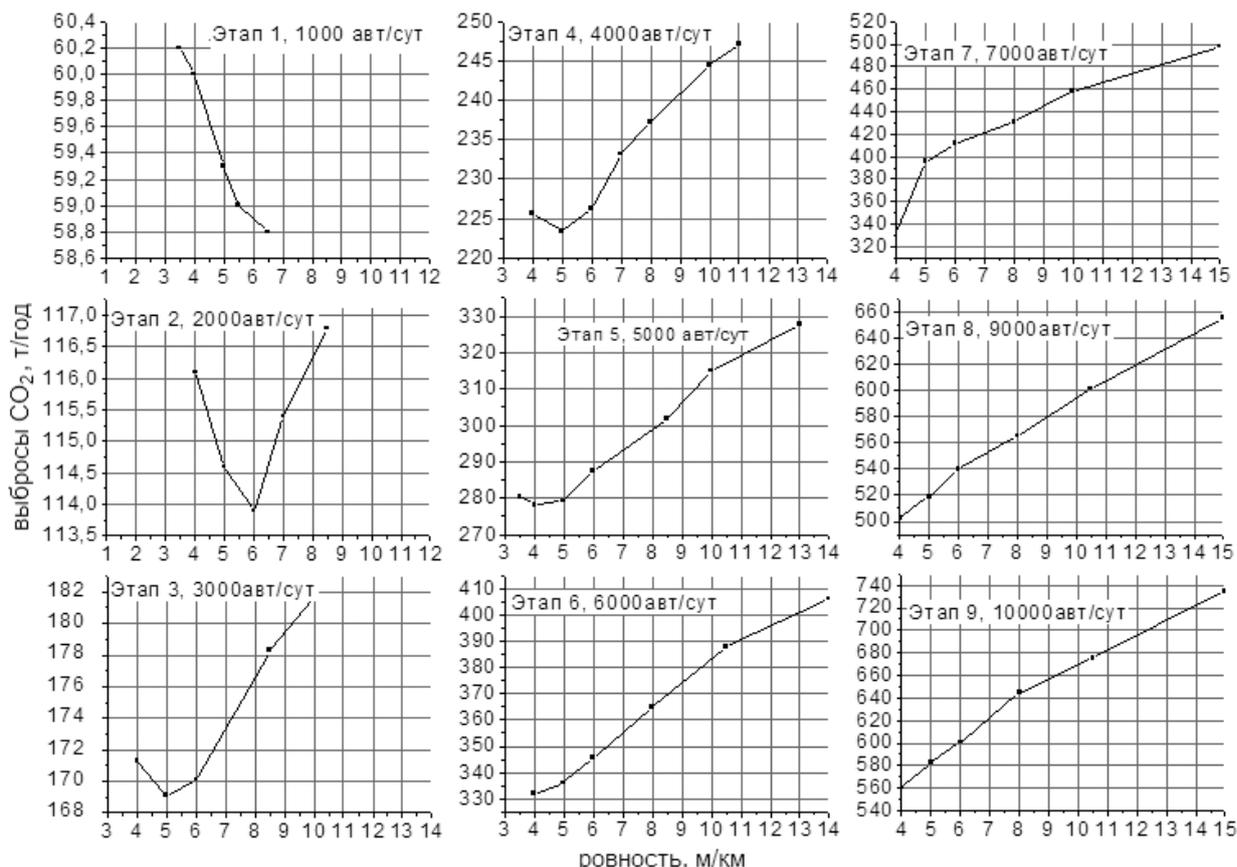
#### **3.6.2. Построение графиков и подбор уравнений «выбросы – интенсивность движения» при различной ровности**

На основании полученных в результате эксперимента данных построены графики зависимости количества выбросов каждого газа от ровности покрытия. На *рис. 3.3* (а - и) показаны графики зависимости «выброс  $\text{CO}_2$  – ровность покрытия». Из рисунка видно, что графики состоят из двух ветвей, причем существует оптимальная ровность, при которой выбросы минимальны. На графике I этапа (а) получена только левая ветвь: т.е. при улучшении качества покрытия выброс  $\text{CO}_2$  увеличивается, что объясняется затратами мощности на более высокую скорость.

Изучение графиков (*рис. 3.3*) показывает, что минимальный выброс  $\text{CO}_2$  происходит для интенсивности  $N=1000$  авт/сут при ровности 6,5 IRI, для  $N=2000$  авт/сут при 6 IRI (удовл.), для  $N=3000$  авт/сут и 4000 авт/сут при 5 IRI (хор.), для  $N=5000-6000$  авт/сут при 4 IRI (хор.), для  $N > 6000$  авт/сут при  $\text{IRI} < 4$

(«отлично»).

Можно считать, что при показателе ровности 5,2 IRI (среднее по Узбекистану) выбросы практически минимальны для интенсивности движения до 5000 авт/сут. При более высоких интенсивностях количество выбросов все более удаляется от минимально возможного значения.



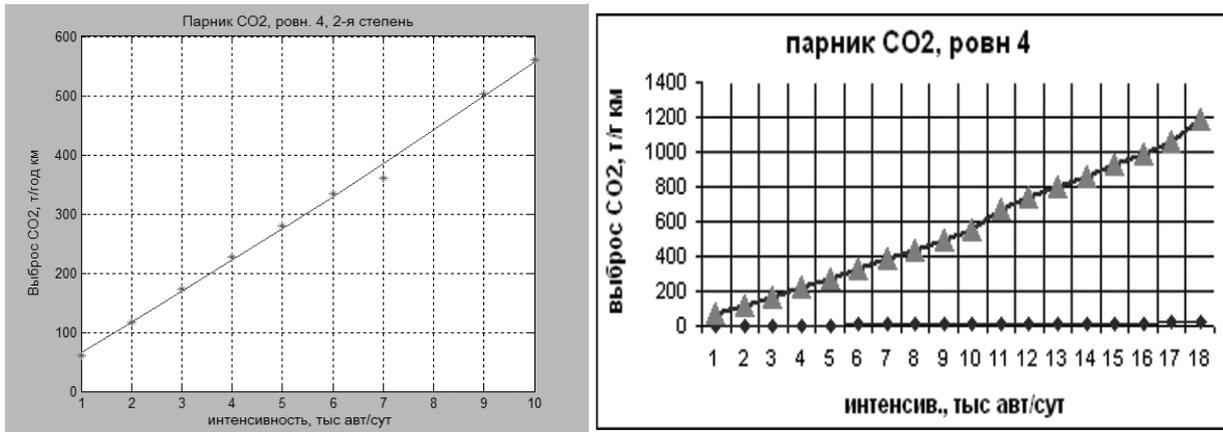
**Рис. 3.3.** График зависимости выбросов парникового газа CO<sub>2</sub> от ровности при различной интенсивности движения

Результаты эксперимента показывают, что для проведения мониторинга выбросов системы «дорога-автомобиль» достаточно определить ровность покрытия, интенсивность движения и состав потока на выбранном участке дороги.

Для обработки результатов мониторинга удобнее пользоваться графиками «интенсивность движения – выбросы» при определенной ровности. Такие графики построены по средним данным для различных видов текущих ремонтов дорог.

На рис. 3.4 в качестве примера показан график, построенный по экспериментальным данным для ровности IRI 4

(рис. 3.4, а) и график, построенный по полученному в среде «MATLAB» уравнению (рис. 3.4, б).



а)

б)

**Рис. 3.4.** График «интенсивность движения – выбросы  $CO_2$ »

а) – построенный по экспериментальным точкам,

б) – построенный по полученному уравнению

Остальные уравнения, полученные в среде «MATLAB» по экспериментальным данным, приведены в табл. 3.10.

**Табл.3.10**

Уравнения определения удельной массы выброса  $CO_2$  ( $т/(год \cdot км)$ ) для дорог с капитальным покрытием

Ровность IRI, м/км	Уравнение $m_{CO_2}$
3,5	$-1.5949N^2 + 66.8191N - 9.1751 *$
4	$0.4641N^2 + 49.3964N + 16.1549$
5	$0.5027N^2 + 51.5873N + 9.2579$
5,5	$0.4976N^2 + 52.5969N + 8.6750$
6	$0.5297N^2 + 53.4463N + 6.6314$
6,5	$0,6183 \cdot 10^{-6} \cdot N^2 + 0,0538 \cdot N + 4,4502$
7	$0.6889N^2 + 54.0504N + 4.553$
8	$0.8185N^2 + 54.7562N + 3.8280$
8,5	$0.7691N^2 + 56.2462N + 1.2058$
10	$0.4585N^2 + 62.8997N - 2.8252$
10,5	$0.2176N^2 + 67.4689N - 27.7053$
11	$3.0451N^2 + 30.4094N + 75.2571$
13	$-0.0287N^2 + 77.4671N - 60.6384$
14	$0.12N^2 + 76.965N - 58.4450$
15	$0.4333N^2 + 71.6667N - 25.1$

\* Примечание: N – интенсивность движения, тыс. авт/сут.

### 3.7. Обобщение уравнений «удельный выброс $CO_2$ – интенсивность движения»

Как видим, все полученные уравнения представляют собой уравнения 2-го порядка. Следовательно, в общем виде эти уравнения можно представить в виде:

$$m_{CO_2} = A \cdot N^2 + B \cdot N + C \quad (3.8)$$

Рассмотрим изменение коэффициентов А, В и С в зависимости от ровности (табл.3.11)

Представим изменения коэффициентов в виде графиков (рис. 3.5)

Выберем ряд значений ровности и опишем полученные графические зависимости с помощью интерполяционного многочлена Ньютона [14, 79]. Это позволит определить коэффициенты А, В и С уравнения (3.8) для любых значений ровности.

Обозначим выбранные значения ровности  $x_0, x_1, \dots, x_{n+1}$ , а соответствующие значения коэффициентов уравнения (3.8) –  $y_0, y_1, \dots, y_{n+1}$  (табл. 3.12)

Построим интерполяционный многочлен Ньютона с по-

**Табл. 3.11**

*Значение коэффициентов А, В и С в зависимости от ровности*

	Ровность IRI, м/км												
	4	5	5,5	6	6,5	7	8	8,5	10	10,5	13	14	15
А	0,4641	0,5027	0,4976	0,5297	0,6183	0,6889	0,8185	0,7691	0,4585	0,2176	-0,0287	0,12	0,4333
В	49,396	51,5873	52,5969	53,4463	53,8	54,0504	54,7562	56,2462	62,8997	67,4689	77,467	76,695	71,6667
С	16,1549	9,2579	8,6750	6,6314	4,4502	4,553	3,828	1,2058	-12,8252	-27,7053	-60,6384	-58,4450	-25,1

мощью метода неопределенных коэффициентов. Для этого запишем искомый многочлен в виде:

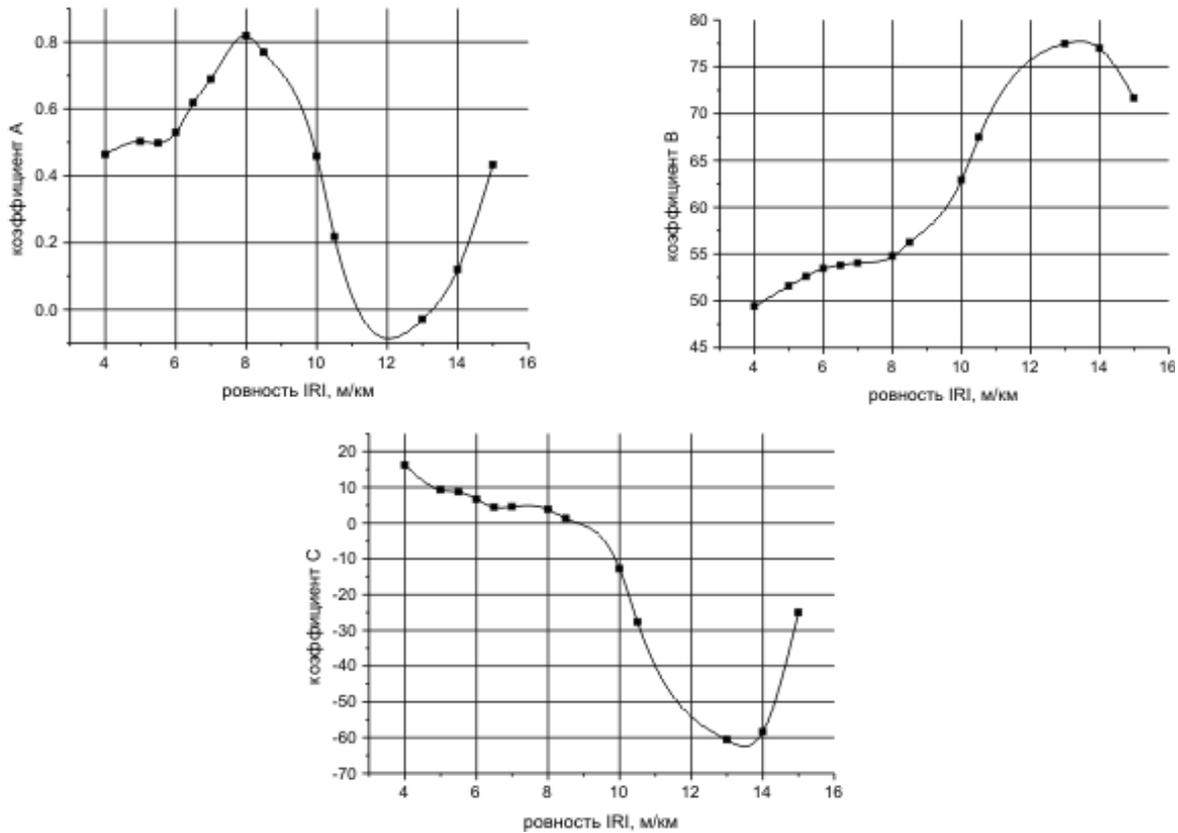


Рис. 3.5. Изменение коэффициентов A, B и C в зависимости от ровности

$$y(x) = b_0 + b_1(x-x_0) + b_2(x-x_0)(x-x_1) + b_3(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2) + \dots + b_n(x-x_0)\dots(x-x_{n-1}) \quad (3.9)$$

Последовательно подставляя в формулу (3.9) вместо x данные значения  $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}$ , получим для нахождения неопределенных коэффициентов  $b_0, b_1, \dots, b_n$  систему уравнений (3.10):

Из первого уравнения системы (3.10) находим свободный член искомого многочлена  $b_0$ ; подставив его во второе уравнение, находим коэффициент  $b_1$  при первой степени x в иско-

Табл. 3.12

№ точки	0	1	2	3	4	5	6	7	8
X	4	5	6	7	8	10	10,5	13	14
A $y_1$	0,4641	0,5027	0,5297	0,6889	0,8185	0,4585	0,2176	-0,0287	0,12
B $y_2$	49,396	51,5873	53,4463	54,0504	54,7562	62,8997	67,4689	77,467	76,695
C $y_3$	16,1549	9,2579	6,6314	4,553	3,828	-12,8252	-27,7053	-60,6384	-58,4450

мом многочлене

и т.д.

В результате подстановок и вычислений получены уравнения для коэффициентов:

$$\begin{cases} y_0 = b_0 \\ y_1 = b_0 + b_1(x_1 - x_0) \\ y_2 = b_0 + b_1(x_2 - x_0) + b_2(x_2 - x_0)(x_2 - x_1) \\ \dots \\ y_{n+1} = b_0 + b_1(x_{n+1} - x_0) + \dots + b_n(x_{n+1} - x_0) \cdot \dots \cdot (x_{n+1} - x_n) \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{A}: y_1 = -0,000008688 x^8 + 0,000585373 x^7 - 0,017016784 x^6 + 0,279385699 x^5 - 2,836359632 x^4 + 18,21080871 x^3 - 71,97313455 x^2 + 159,4341975 x - 150,497783 = \mathbf{A} \quad (3.11)$$

$$\mathbf{B}: y_2 = -0,000038605 x^8 + 0,0035213 x^7 - 0,129120942 x^6 + 2,527767264 x^5 - 29,17135835 x^4 + 204,573212 x^3 - 855,9080764 x^2 + 1963,566667x - 1849,876144 = \mathbf{B} \quad (3.12)$$

$$\mathbf{C}: y_3 = -0,000733432 x^8 + 0,04751178 x^7 - 1,308293548 x^6 + 19,99653795 x^5 - 185,6542291 x^4 + 1072,386057 x^3 - 3763,169261 x^2 + 7327,045842 x - 6034,965189 = \mathbf{C} \quad (3.13)$$

Уравнения для вычисления коэффициентов для уравнений выбросов  $\text{CO}_2$  на дорогах с облегченным типом покрытия, выглядят следующим образом:

$$\mathbf{A}/: y_1 = -0,025844696x^5 + 1,260701208x^4 - 24,0599029x^6 + 223,9966392x^2 - 1015,16234x + 1791,801901 = \mathbf{A} \quad (3.14)$$

$$\mathbf{B}/: y_2 = 0,119602 x^5 - 5,827709 x^4 + 111,110845 x^3 - 1033,391737x^2 + 4680,505456 x - 8198,840181 = \mathbf{B} \quad (3.15)$$

$$\mathbf{C}/: y_3 = -0,09864335 x_5 + 4,744248895 x_4 - 89,42294478 x_3 + 823,812271 x_2 - 3703,244415 x + 6501,290406 = \mathbf{C} \quad (3.16)$$

При помощи выражений (3.11) – (3.16) можно определять выбросы  $\text{CO}_2$  при любых значениях ровности покрытия в заданном интервале по уравнению

$$m_{\text{CO}_2} = AN^2 + BN + C \text{ для дорог с капитальным покрытием}$$
$$\text{и } m_{\text{CO}_2} = A' N^2 + B' N + C' \text{ для дорог с облегченным покрытием (3.17)}$$

где  $N$  – интенсивность движения, тыс. ав/сут

Подобным образом могут быть получены уравнения для определения выбросов других веществ.

Коэффициенты уравнений могут быть использованы как временные и должны пересматриваться в зависимости от изменений конструкции автомобилей и технологии производства ремонта и обслуживания.

### **Выводы**

Полученные уравнения вида  $AN^2 + BN + C$ , могут быть использованы при проведении инвентаризации выбросов по известной ровности дорожных покрытий, а также для определения превышения выбросов при неудовлетворительной ровности дорожных покрытий.

## ГЛАВА 4. ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА И ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА ПО КРИТЕРИЮ «РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ»

### *4.1. Задачи мониторинга выбросов автомобильно-дорожного комплекса*

В результате проведенного исследования выявлена корреляционная зависимость между количеством ВВ, поступающих в атмосферу от системы «дорога-автомобиль», и ровностью дороги при данной интенсивности движения. Построены также графики «количество выбросов  $\text{CO}_2$  - интенсивность» при заданной ровности и составлены соответствующие уравнения [120].

Т.о., мониторинг выброса парниковых (и др.) газов можно осуществлять, производя периодический контроль ровности дорог и интенсивности движения. Такой мониторинг позволит:

- производить ежегодную инвентаризацию поступающих от системы «дорога-автомобиль» в атмосферу ВВ, пользуясь полученными соотношениями; (учитывая, что количество выбросов, связанное с обслуживанием дорог мало по сравнению со связанным с обслуживанием автомобилей, считаем, что полученные для дорог с асфальтобетонным покрытием соотношения могут быть использованы для покрытий других типов).

- фиксировать превышение выбросов из-за недопустимо низкого качества состояния дорожного покрытия. (Удовлетворительным считается такое состояние, при котором ровность оценивается оценкой «удовлетворительно» для любого типа дорожной одежды).

Фиксирование превышения количества выбросов даст основание для определения санкций по отношению к дорожным службам, что, в свою очередь, будет способствовать улучшению состояния ОС. И, наоборот, при оценках ровности «хорошо» и «отлично» можно говорить о поощрении дорожных служб.

### *4.2. Выбор метода организации мониторинга*

Мониторинг предлагается осуществлять не менее одного

раза в год методом выборочного контроля состояния дорог [17, 20, 69].

Схема выборки следующая:

1. Территория РУз, представляется в виде кластера, включающего все области, а также Каракалпакстан (рис. 4.1);
2. Методом случайной выборки назначаются области, подлежащие мониторингу;
3. В каждой из назначенных областей для исследования выбираются методом случайной выборки дорожные хозяйства;
4. В каждом отобранном хозяйстве ровность и интенсивность движения замеряются на всем протяжении дорог;
5. После проверки отобранные области выбывают из исходной совокупности.

#### **4.3. Обоснование необходимого объема выборки**

Центральная лаборатория «Узавтойул» ежегодно представляет данные о ровности дорог Узбекистана: по Республике в целом, по областям, а также по дорожным хозяйствам каждой области для дорог с различными типами покрытий (капитальным, облегченным и переходным). Эти данные дают возможность определить дисперсии и средние квадратичные отклонения ровности дорог с различными типами покрытий, на основании чего можно подойти к определению объема выборки.

**I этап.** Определение количества административных единиц, подлежащих мониторингу.

I-1. Среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  ровностей для дорог с различными типами покрытий по Республике

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta}{m-1}} \quad (4.1)$$

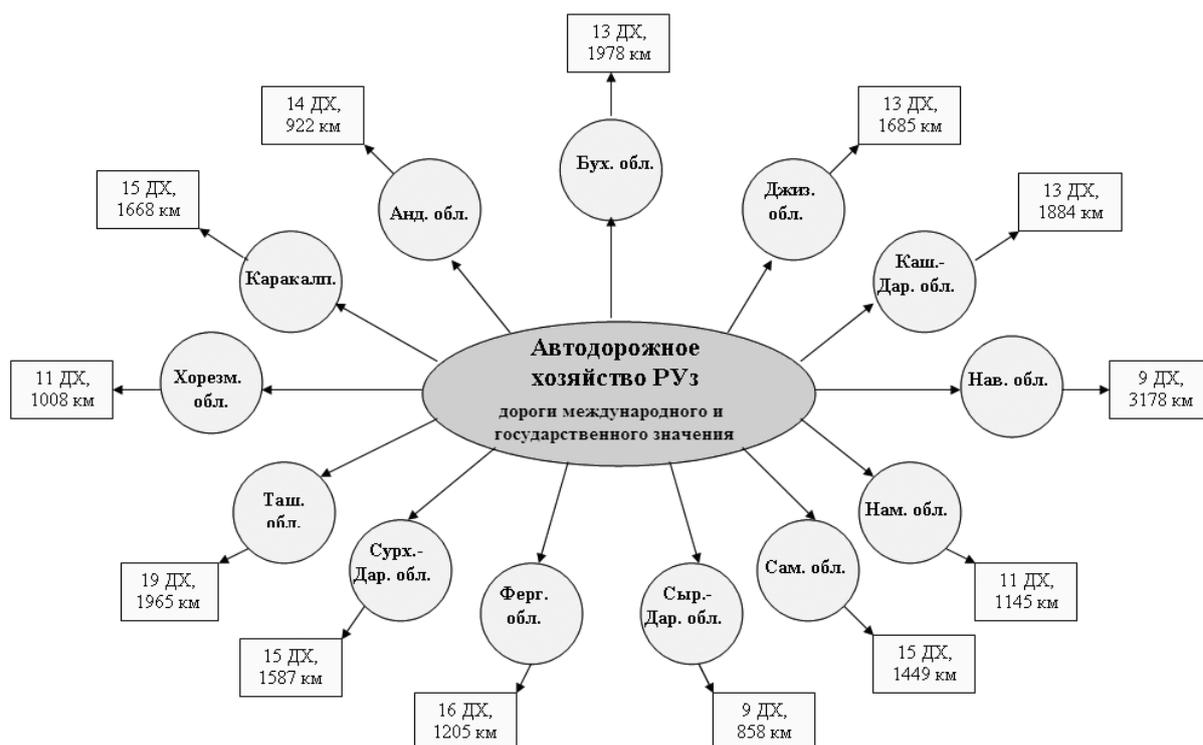
где  $\delta$  – дисперсия;

$$\delta = \Sigma(x_i - x_{cp})^2 \quad (4.2)$$

$x_i$  – ровность дорог в каждой области;

$x_{cp}$  – среднее значение ровности дорог в Республике;

$m-1$  – число степеней свободы (при малом объеме выборки);



*Рис. 4.1. Кластер автомобильно-дорожных хозяйств РУз*

$m$  – число наблюдений, равное количеству административных единиц (12 областей и республика Каркалпакстан)

Средние квадратичные отклонения ровности для дорог с различными типами дорожных одежд, полученные на основании данных Узавтоул, приведены в *таблице 4.1*

*Табл. 4.1*

*Средние квадратичные отклонения ровности*

Вид дорожной одежды	Капитальные	Облегченные	Переходные
Среднеквадратичное отклонение ровности $s$	0,24251	0,416348	0,394806

I-2. Количество административных единиц, подлежащих мониторингу определяется по дорогам облегченного типа, т.к. для них среднеквадратичное отклонение имеет наибольшую величину (т.е. оценка проводится по наихудшему варианту).

Сформулируем задачу следующим образом:

В республике 13 административных единиц. Провести выборочное обследование методом случайного бесповторного

отбора для нахождения средней величины ровности дорог. Определить необходимый объем выборки при условии, что с вероятностью  $p = 0,954$  ошибка выборки не превысит  $1\text{IRI}$  ( $\pm 0,5\text{IRI}$ ) при среднеквадратичном отклонении  $\sigma = 0,416348$ .

Объем выборки  $n$  определим по формуле [17, 30,78]:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2 N}{N \Delta_x^2 + t^2 \sigma^2} \quad (4.3)$$

где  $t$  – коэффициент доверия, определяется по таблице Лапласа (табл. 4.2);  $t = 2$  [20]

Табл. 4.2

*Коэффициенты доверия по Лапласу*

Вероятность $p$	0,683	0,954	0,997
Коэффициент доверия $t$	1	2	3

$\sigma$  - среднеквадратичное отклонение  $\sigma = 0,416348$

$N$  – объем генеральной совокупности;  $N = 13$  адм. единиц;

$\Delta x$  – ошибка выборки  $\Delta x = 1$ ,  $\text{IRI} (\pm 0,5\text{IRI})$

$$n = \frac{2^2 \cdot 0,416348^2 \cdot 13}{13 \cdot 1^2 + 2^2 \cdot 0,416348^2} = 0,65827$$

т.е. для проведения мониторинга достаточно выбрать 1 административную единицу.

При  $\Delta x = \pm 0,4\text{IRI}$  значение  $n = 1,000066$ , т.е. достаточно выбрать 1 административную единицу

При  $\Delta x = \pm 0,3\text{IRI}$   $n = 1,667$ , т.е. достаточно выбрать 2 административные единицы.

**II Этап.** Определение количества дорожных хозяйств, подлежащих мониторингу.

II-1. Определяем среднеквадратичное  $\sigma$  ровностей дорог облегченного типа по областям по формуле (4.1), где  $\delta$  – дисперсия;

$$\delta = \sum (x_i - x_{cp})^2$$

$x_i$  – ровность дорог в каждом дорожном хозяйстве;

$x_{cp}$  – среднее значение ровности дорог по данной области;

$m-1$  – число степеней свободы (при малом объеме выборки);

$m$  – число наблюдений, равное числу дорожных хозяйств в той же области.

Значения среднеквадратичных отклонений  $\sigma$  для дорог облегченного типа для всех областей и Республики Каракалпакстан приведены в табл. 4.3

**Табл. 4.3**

*Значения среднеквадратичных отклонений  $\sigma$  для дорог облегченного типа*

Область	s	Кол-во дорожных хозяйств	Область	s	Кол-во дорожных хозяйств
Андижанская	0,6013	14	Сурхан-Дарьинская	0,22337	15
Бухарская	0,2155	13	Сыр-Дарьинская	0,5552	9
Джизакская	0,5417	13	Ташкентская	0,68358	19
Кашка-Дарьинская	0,24906	13	Ферганская	0,65618	16
Навоийская	0,52909	9	Хорезмская	0,2541	11
Наманганская	0,5694	11	Республика Каракалпакстан	0,23052	15
Самаркандская	0,74999	15			

II-2. Определяем количество дорожных хозяйств, подлежащих мониторингу в выбранной административной единице.

Определение количества дорожных хозяйств будем базировать на Самаркандской области, т.к. для нее среднеквадратичное отклонение наибольшее ( $\sigma = 0,74999$ , т.е. наихудший вариант).

**Формулировка задачи:**

В области 15 дорожных хозяйств. Провести выборочное обследование методом случайного бесповторного отбора для

нахождения средней величины ровности дорог. Определить необходимый объем выборки при условии, что с вероятностью  $p = 0,954$  ошибка выборки не превысит  $1\text{IRI}$  ( $\pm 0,5\text{IRI}$ ) при среднеквадратичном отклонении  $\sigma = 0,74999$ .

Объем выборки  $n$  определим по формуле (4.3), где

$$t = 2$$

$$\sigma = 0,74999$$

$$N = 15 \text{ дор. хоз-в}$$

$$\Delta x = 1 \text{ IRI}$$

$$n = \frac{2^2 \cdot 0,74999^2 \cdot 15}{15 \cdot 1^2 + 2^2 \cdot 0,74999^2} = 1,956$$

т.е. для проведения мониторинга достаточно выбрать 2 дорожных хозяйства.

При  $\Delta x = \pm 0,4\text{IRI}$  значение  $n=2,848$ , т.е. достаточно выбрать 3 дорожных хозяйства

При  $\Delta x = \pm 0,3\text{IRI}$  значение  $n=4,4$ , т.е. достаточно выбрать 5 дорожных хозяйств.

**III Этап.** Определение вероятности того, что ошибка выборки  $\Delta x$  не превысит  $\pm 0,5\text{IRI}$ ,  $\pm 0,4\text{IRI}$  или  $\pm 0,3\text{IRI}$  при соответствующем объеме выборки.

Перемножая вероятности, определенные для республики рресп и области робл получим:

$$p = p_{\text{респ}} \cdot p_{\text{обл}} = 0,954^2 = 0,91012$$

Вывод: Выборка, состоящая из 1 административной единицы и двух дорожных хозяйств в ней с вероятностью 0,91 обеспечит ошибку при определении средней ровности дорог по республике  $\pm 0,5\text{IRI}$ .

1 адм. ед. и 3 ДХ -  $\pm 0,4\text{IRI}$

2 адм. ед. и 6 ДХ (по 3 из каждой) -  $\pm 0,3\text{IRI}$

#### **4.4. Методика проведения мониторинга и инвентаризация выбросов по результатам мониторинга**

На основании п.п. 4.1 – 4.3 была разработана методика проведения мониторинга и последующей инвентаризации

выбросов по результатам мониторинга. Рассмотрим предлагаемый порядок проведения мониторинга:

1. Изучить карту автомобильных дорог, находящихся на балансе дорожного хозяйства, назначенного к проверке (категории дорог, их протяженность, типы дорожных одежд, типы покрытий);

2. Составить маршрут движения лаборатории;

3. Методика определения необходимых параметров зависит от имеющихся в наличии приборов в передвижной лаборатории.

Ровность дорог определяется с помощью толчкомера, например, ТХК-2, установленного на автомобиль «РАФ».

Интенсивность движения определяется методом краткосрочного наблюдения с последующим пересчетом на среднегодовую суточную интенсивность с помощью подвижного наблюдателя непосредственно из ходовой лаборатории (при наличии цифровой кино- или фотокамеры) [66] или стационарного наблюдения [73].

Состав потока определяется также стационарным наблюдением упрощенно: процент содержания легковых и грузовых автомобилей (включая автобусы), без разбиения на марки.

4. Производится обработка полученных результатов.

Рассмотрим подробнее порядок проведения измерений и обработки полученных результатов.

**Табл. 4.4**

*1. Определение по карте дорог протяженности участков по категориям и типам дорожных одежд*

Категория	Тип покрытия	Протяженность
I	капитальный	$L_1$
II	капитальный	$L_2$
III	капитальный	$L_3^K$
III	облегченный	$L_3^{об}$
IV	капитальный	$L_4^K$
IV	облегченный	$L_4^{об}$
V	облегченный	$L_5$

Проверка:  $L_1 + L_2 + L_3^K + L_3^{об} + L_4^K + L_4^{об} + L_5 = L_{общ}$

Где  $L_{общ}$  – протяженность дорог, находящихся на балансе дорожного хозяйства.

## **II. Ровность, интенсивность движения и состав потока**

(На примере дорог I категории)

II.1. Дороги I категории для проведения мониторинга разбиваются по карте на  $m$  участков протяженностью  $l$  между пересечениями с другими дорогами. Проверка:  $l_1 + l_2 + \dots + l_m = L_1$

II.2. Определяется средняя ровность на каждом участке

### **I участок**

$$S_{ср1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} S_i}{n_1}$$

где  $n_1$  – число замеров ровности на длине через каждый километр:  $n_1 = 2l_1$  (замеры производятся в двух направлениях)

Оценка ровности участка  $l_1$  (табл. 1.4):

Если  $S_{ср1} \leq 90$ ,  $IRI_{ср1} \leq 4$ , то оценка «отлично»

Если  $S_{ср1} \leq 150$ ,  $IRI_{ср1} \leq 5,5$ , то оценка «хорошо»

Если  $S_{ср1} \leq 220$ ,  $IRI_{ср1} \leq 6$  то оценка «удовл.»

2-й... $m$ -й участки:  $S_{ср2} \dots S_{срm}$  и оценки определяются аналогично.

II.3. Среднегодовая суточная интенсивность движения  $N_i$  на каждом участке определяется по следующим зависимостям [73]

Если замер производится с 8.00 до 11.00, то применяется формула (4.4)

Если замер производится с 11.00 до 14.00, то применяется формула (4.5)

Если замер производится с 14.00 до 17.00, то применяется формула (4.6)

$$N = 4,4N_{8-11} + 236 \quad (4.4)$$

$$N = 4,91N_{11-14} - 92 \quad (4.5)$$

$$N=4,9 N_{14-17} - 40 \quad (4.6)$$

(ошибка точности расчета составляет 1...6% [73])

**II.4. Состав потока (процентное соотношение легковых и грузовых автомобилей) определяется в те же часы.**

**III. Массовый выброс какого-либо вещества (на примере CO<sub>2</sub>)**

**III.1. Массовый выброс на каждом участке**

$$m_i = f(N_i, S_i^{cp}, K_i) \\ (m_{CO_2})_i = (A_i N_i^2 + B_i N_i + C_i) \cdot K_i \quad (4.7)$$

Где  $K_i$  – поправочный коэффициент состава потока (при  $\Gamma=50\%$  и  $L=50\%$   $K=1$ ). Значения  $K$  приведены в табл. Приложения 2.

**III.2. Средний удельный выброс CO<sub>2</sub> для каждой категории дорог**

$$(m_{CO_2})_{cpl} = \frac{\sum((m_{CO_2})_i \cdot l_i)}{L_i} \quad (4.8)$$

Если проверяется 2 хозяйства, то

$$(m_{CO_2})_{cpl} = \frac{(m_{CO_2}^I)_i + (m_{CO_2}^{II})_i}{2} \quad (4.9)$$

#### **IV. Превышение выбросов**

**IV.1. Превышение на каждом участке**

Если  $S_{cpi}$  - «плохо» ( $S_{cpi} > 110$ ), то

$$П_i = m_i - m_i^{удовл} \quad (4.10)$$

где  $m_i^{удовл}$  – величина выброса CO<sub>2</sub> при  $S = 110$  (IRI=6) для капитальных покрытий и  $S = 210$  (IRI= 10,63) для облегченных покрытий

Если  $S_{cpi} < 110$ , то  $П=0$

**IV.2. Среднее превышение**

$$П_{\phi} = \frac{\sum((П_i) \cdot l_i)}{L_i} \quad (4.11)$$

**V. Общий выброс на дорогах I категории**

$$M_{\text{общI}} = (m_{\text{CO}_2})_{\text{срI}} \cdot L_I^{\text{респ}} \quad (4.12)$$

где  $L_I^{\text{респ}}$  – протяженность дорог I категории по РУЗ (табл. 4.5)

**VI. Общее превышение выбросов**

$$\Pi_{\text{общI}} = \Pi_{\text{срI}} \cdot L_I^{\text{респ}} \quad (4.13)$$

Табл. 4.5

*Протяженность дорог различных категорий по Республике Узбекистан*

	Категория дорог					Общая
	I	II	III	IV	V	
Протяженность, км	2381	5587	7427	19442	7817	42654

**VI. Дополнительный ущерб**

$$У_{\text{общ}} = \Pi_{\text{общ}} \cdot 3,33 \quad \text{у.е./год} \quad (4.14)$$

где 3,33 у.е./т – денежное выражение ущерба от воздействия  $\text{CO}_2$  [47, 83, 97, 101].

Подобным образом производится расчет количества выбросов, превышений выбросов и ущерба для всех категорий дорог. Затем определяется суммарный выброс, суммарное превышение выбросов и ущерб по всей республике.

**Пример определения выбросов  $\text{CO}_2$** 

Предположим, в данном хозяйстве протяженность дорог I категории  $L_I = 16$  км.

Для определения интенсивности движения разбиваем  $L_I$  на 2 участка  $l_1$  и  $l_2$  протяженностью по 8 км. Мониторинг должен выявить выбросы  $\text{CO}_2$  на дорогах I категории и превышения выбросов.

1. Проверяем:  $l_1 + l_2 = L_I \quad 8+8=16$

**2. I участок**

2.1. Производим замеры ровности на участке через каждый километр в двух направлениях.

$S_i = 80, 90, 70, 85, 75, 100, 110, 70, 90, 95, 100, 80, 90, 95, 75, 90$

## 2.2. Средняя ровность

2.3. Сравниваем с табличными значениями. Данному значе-

$$S_{ср1} = \frac{\sum S_i}{16} = \frac{1395}{16} = 87,2 \quad (IRI = 4,87)$$

нию ровности соответствует оценка «отлично».

2.4. Интенсивность  $N1 = 15000$  авт/сут.

2.5. Состав потока:  $L = 30\%$ ,  $\Gamma = 70\%$ ;  $K = 1,247$

## 3. II участок

3.1. Ровность на участке через каждый километр в двух направлениях.

$S_i = 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 200, 190, 180, 170, 160, 150, 200$

3.2. Средняя ровность

3.3. Сравниваем с табличными значениями. Оценка «плохо»

$$S_{ср2} = \frac{\sum S_i}{16} = \frac{2510}{16} = 156,9 \quad (IRI = 8,66)$$

3.4. Интенсивность  $N2 = 10000$  авт/сут.

3.5. Состав потока:  $L = 50\%$ ,  $\Gamma = 50\%$ ;  $K = 1$

4. Выбросы на первом участке

По уравнению (4.7) для интенсивности 15000 авт/сут и ровности  $IRI = 4,87$

$(m_{CO_2})_1 = (0,4976 \cdot 15^2 + 52,5969 \cdot 15 + 8,675) \cdot K = (909,6 \text{ т/км} \cdot \text{год}) \cdot K = 909,6 \cdot 1,247 = 1134,3 \text{ т/км} \cdot \text{год}$

Превышение:  $\Pi_1 = 0$

5. Выбросы на втором участке

По уравнению (4.7) для интенсивности 10000 авт/сут и ровности  $IRI = 8,66$

$(m_{CO_2})_2 = (0,7691 \cdot 10^2 + 56,2462 \cdot 10 + 1,2058) \cdot K = (640,62 \text{ т/км} \cdot \text{год}) \cdot 1 = 640,62 \text{ т/км} \cdot \text{год}$

Превышение:  $\Pi_2 = (m_{CO_2})_2 - m_{удовл}$

$m_{удовл}$  – по уравнению (4.7) при  $N = 10000$  авт/сут и ровности  $IRI = 6$

$m_{удовл} = 0,5297 \cdot 10^2 + 53,4463 \cdot 10 + 6,6314 = 52,97 + 534,46 + 6,6314$

=594,06 т/км·год

$P_2 = 640,62 - 594,06 = 46,56$  т/км·год

6. Средний выброс на дорогах I категории

$$(m_{CO_2})_{срI} = \frac{\Sigma(m_i l_i)}{L} = \frac{1134,3 \cdot 8 + 640,62 \cdot 8}{16} = 887,5 \quad \text{т/км·год}$$

7. Среднее превышение

$$(m_{CO_2})_{срI} = \frac{\Sigma(m_i l_i)}{L} = \frac{1134,3 \cdot 8 + 640,62 \cdot 8}{16} = 887,5 \quad \text{т/км·год}$$

8. Общий выброс, превышение выбросов и дополнительный ущерб по Республике Узбекистан.

Протяженность дорог I категории – 2381 км (табл. 4.5).

Общий выброс:  $M_{об} = 887,5$  т/год·км · 2381 км = 2 113 138 т/год

Общее превышение выбросов  $P_{об} = 23,28 \cdot 2381 = 55429,68$  т/год

Дополнительный ущерб  $Y_{об} = 55429,68 \cdot 3,3$  у.е./т = 182917,94 у.е./год

Т.о. в основу определения допустимого уровня выбросов положена существующая балльная система оценки ровности покрытия, которая позволяет оценивать одинаково разные показатели ровности для дорог с различными типами дорожных одежд. В условиях ограниченного финансирования трудно ожидать кардинальных изменений в ужесточении оценок ровности, однако следует отметить, что низкие требования к дорожным покрытиям способствуют росту выбросов ВВ, непропорциональному росту интенсивности движения.

#### **4.5. Приближенный учет $CO_2$**

При предварительной грубой оценке количества  $CO_2$  (или другого газа), выбрасываемого АДК, можно применить способ приближенного учета, для чего необходимо иметь следующие данные:

среднее по РУз значение ровности дорог с различными типами покрытий на рассматриваемый год (по данным ежегодной диагностики дорог службами «Узавтойўл»);

протяженность дорог различных категорий, км (табл. 4.5);

интенсивность движения автотранспортного потока, авт/сут (принимается среднее значение для данной категории дорог, табл. 4.6)

Удельный выброс  $\text{CO}_2$ , т/год·км определяется по уравнению (4.15) для дорог с капитальным типом покрытия и по уравнению (4.16) для дорог с облегченным типом покрытия

Таблица 4.6

## Интенсивность движения по категориям дорог

Категория, тип дорожных одежд		I	II	III	IV	V
Интенсивность, прив. ед./сут		>	6000-14000	2000-6000	200-2000	<
Средняя интенсивность	прив. ед./сут	14000	10000	4000	1100	200
	авт/сут	9409	6720	2688	739	134

$$m_{\text{CO}_2} = (A N_i^2 + B N_i + C) \quad (4.15)$$

$$m_{\text{CO}_2} = (A' N_i^2 + B' N_i + C') \quad (4.16)$$

где  $N_i$  – средняя интенсивность движения на дорогах  $i$ -й категории, тыс. авт/сут (табл. 4.6),

$i$  – категория дороги;

$A, B, C, A', B', C'$  – коэффициенты, определяемые по уравнениям (3.11 – 3.16), куда вместо  $x$  подставляется  $\text{IRI}_{\text{ср}i}$  – средняя по РУЗ ровность покрытия соответственно дорог капитального и облегченного типа.

Выброс на всем протяжении дороги определяется  $M_{\text{CO}_2} = m_{\text{CO}_2} \cdot L$ , т/год

С учетом данных табл. 4.5 и 4.6  $M_{\text{CO}_2}^{\text{кап}}$  и  $M_{\text{CO}_2}^{\text{обл}}$  определяются следующим образом:

Капитальные

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{капI}} = (A \cdot 9,41^2 + B \cdot 9,41 + C) \cdot L_I$$

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{капII}} = (A \cdot 6,72^2 + B \cdot 6,72 + C) \cdot L_{II}$$

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{капIII}} = (A \cdot 2,7^2 + B \cdot 2,7 + C) \cdot L_{III}$$

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{капIV}} = (A \cdot 0,74^2 + B \cdot 0,74 + C) \cdot L_{IV}$$

Облегченные

$$M_{CO_2}^{облIII} = (A' \cdot 2,7^2 + B' \cdot 2,7 + C') \cdot L_{облIII}$$

$$M_{CO_2}^{облIV} = (A' \cdot 0,74^2 + B' \cdot 0,74 + C') \cdot L_{облIV}$$

$$M_{CO_2}^{облV} = (A' \cdot 0,134^2 + B' \cdot 0,134 + C') \cdot L_{облV}$$

Полный выброс  $CO_2$  автодорожным комплексом

#### 4.6. Сопоставление разработанной методики с методикой МГЭИК

Поскольку апробация разработанной методики в реальных условиях крайне затруднительна, т.к.  $CO_2$  долго держится в атмосфере и источник его поступления отследить невозможно, необходимо сравнение результатов с результатами, полученными другими методами.

В настоящее время наибольшее распространение в мире получила методика инвентаризации  $CO_2$ , разработанная МГЭИК. Проведем сравнительные расчеты выбросов  $CO_2$  автомобильно-дорожного комплекса по методике МГЭИК [71, 108] и предлагаемой методике (см. п. 4.5).

##### 1) Расчет по методике МГЭИК

Ежегодно в Республике Узбекистан продается 1,5 млн. т. бензина и 1,5 млн. т. дизельного топлива (по данным 2010г).

$$\text{Выбросы } CO_2 = \Sigma [\text{Топливо}_a \cdot EF_a],$$

где  $EF_a$  – коэффициент выбросов, кг/ТДж

##### а) Бензин (ТДж)

$$1,5 \cdot 10^9 \text{ кг} \cdot 44 \text{ МДж/кг} = 0,0660 \cdot 10^{12} \text{ МДж} = 0,0660 \cdot 10^6 \text{ ТДж},$$

где 44 МДж/кг – теплота сгорания бензина

$$EF_a = 69300 \text{ кг/ТДж (табл. 3.2.1 [71])}$$

$$\text{Выбросы } CO_2 = 0,0660 \cdot 10^6 \cdot 69300 = 66000 \cdot 69300 = 4573800 \cdot 10^3 \text{ кг} = 4573800 \text{ т } CO_2$$

##### б) Дизельное топливо (ТДж)

$$1,5 \cdot 10^9 \text{ кг} \cdot 42,7 \text{ МДж/кг} = 0,06405 \cdot 10^{12} \text{ МДж} = 0,06405 \cdot 10^6 \text{ ТДж}$$

где 42,7 МДж/кг – теплота сгорания дизельного топлива

$$EF_a = 74100 \text{ кг/ТДж (табл. 3.2.1 [71])}$$

$$\text{Выбросы } CO_2 = 0,06405 \cdot 10^6 \cdot 74100 = 4746105 \text{ т } CO_2/\text{год}$$

Суммарный выброс  $CO_2$

$$4573800+4746105 = 9319905 \text{ т CO}_2/\text{год}$$

2) Расчет по предлагаемой методике (ф-лы (4.15), (4.16), табл. 4.5, 4.6)

По данным «Узавтойул»

Средняя ровность дорог с капитальным покрытием 5,2 IRI

- «-с облегченным покрытием 7,08 IRI

Коэффициенты для уравнений (4.15), (4.16) вычисляем для указанной ровности:

Для дорог с капитальным покрытием  $A = 0.494088842$ ,  $B = 51.81936007$ ,  $C = 6.735261$

$$M_{CO_2}^{\text{капI}} = (A \cdot 9,41^2 + B \cdot 9,41 + C) \cdot LI = (0.494088842 \cdot 9,41^2 + 51.81936007 \cdot 9,41 + 6.735261) \cdot 2381 = 1896005.8 \text{ т/год}$$

$$M_{CO_2}^{\text{капII}} = (A \cdot 6,72^2 + B \cdot 6,72 + C) \cdot LII = (0.494088842 \cdot 6,72^2 + 51.81936007 \cdot 6,72 + 6.735261) \cdot 5587 = 1554215.7 \text{ т/год}$$

$$M_{CO_2}^{\text{капIII}} = (A \cdot 2,7^2 + B \cdot 2,7 + C) \cdot LIII = (0.494088842 \cdot 2,7^2 + 51.81936007 \cdot 2,7 + 6.735261) \cdot 3714 = 32354.943 \text{ т/год}$$

$$M_{CO_2}^{\text{капIV}} = (A \cdot 0,74^2 + B \cdot 0,74 + C) \cdot LIV = (0.494088842 \cdot 0,74^2 + 51.81936007 \cdot 0,74 + 6.735261) \cdot 3713 = 343943.76 \text{ т/год}$$

Суммарный выброс по дорогам с капитальным покрытием 3826610 т CO<sub>2</sub>/год

Для дорог с облегченным покрытием:  $A' = 1.802056483$ ,  $B' = 56.24885$ ,  $C' = 10.88758$

$$M_{CO_2}^{\text{облIII}} = (A' \cdot 2,7^2 + B' \cdot 2,7 + C') \cdot L_{III}^{\text{обл}} = (1.802056483 \cdot 2,7^2 + 56.24885 \cdot 2,7 + 10.88758) \cdot 3713 = 484893.6$$

$$M_{CO_2}^{\text{облIV}} = (A' \cdot 0,74^2 + B' \cdot 0,74 + C') \cdot L_{IV}^{\text{обл}} = (1.802056483 \cdot 0,74^2 + 56.24885 \cdot 0,74 + 10.88758) \cdot 9721 = 411874.54$$

$$M_{CO_2}^{\text{облV}} = (A' \cdot 0,1^2 + B' \cdot 0,1 + C') \cdot L_{V}^{\text{обл}} = (1.802056483 \cdot 0,1^2 + 56.24885 \cdot 0,1 + 10.88758) \cdot 7817 = 85249.1$$

Суммарный выброс по дорогам с облегченным покрытием 982 017 тСО<sub>2</sub>/год

Общий суммарный выброс СО<sub>2</sub> 4° 808·627·т/год.

Предлагаемая методика предназначена для расчета выбросов СО<sub>2</sub> только для дорог общего пользования. Для сравнения результатов, полученных по методике МГЭИК и предлагаемой методике необходимо к последним добавлять выбросы автомобилей в городах и крупных населенных пунктах.

С учетом улично-дорожной сети городов и крупных населенных пунктов, общая сумма выбросов составит 9036065 т СО<sub>2</sub>/год. Как видим, расчеты по методике МГЭИК и предлагаемой методике дают близкий результат. Разницу в результатах можно объяснить тем, что в предлагаемой методике определяются выбросы без учета выбросов сельскохозяйственной и спецтехники.

### ***Недостатки методики МГЭИК.***

- дает заведомо завышенный результат, т.к. коэффициент рассчитывается для всего углерода, содержащегося в топливе, в виде СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, СО, VНОС и твердых частиц (текст МГЭИК).

- Методика МГЭИК не может служить инструментом для выяснения причин изменения количества выбросов и принятия мер по их устранению.

- Учитывает только сожженное в автомобилях топливо и не учитывает выбросы при обслуживании и ремонте дорог и автомобилей и производстве материалов.

Предлагаемая методика позволяет:

- учитывать выбросы от всех процессов, происходящих при эксплуатации дорожно-транспортного комплекса;

- оценивать выбросы по результатам относительно несложного мониторинга состояния дорог;

- обосновывать меры воздействия на дорожные службы для улучшения состояния окружающей среды.

### ***Выводы***

В результате проведенных исследований предложена

методика проведения мониторинга загрязнений атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом, по результатам которого производится инвентаризация вредных выбросов, а также определяется превышение выбросов относительно допустимого уровня. Допустимый уровень определяется по полученным уравнениям при ровности, имеющей оценку не менее 3-х баллов, и является той предельной нормой выбросов, которую нельзя превышать. Т.о., полученные уравнения можно рассматривать как нормативную базу для проведения инвентаризации и фиксации превышения выбросов.

## Глава 5. СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА И НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

### 5.1. Задачи натурального эксперимента

Сравнение результатов, полученных по предлагаемой методике и методике МГЭИК, дает основание утверждать, что предлагаемая методика может быть использована для инвентаризации выбросов  $\text{CO}_2$ . Для получения подтверждения допущения, что в основу предлагаемой методики заложена правильная теоретическая база, проведен натурный эксперимент по выявлению зависимости выбросов  $\text{CO}$  в придорожной зоне от ровности покрытия и интенсивности движения.

Иначе говоря, натурный эксперимент потребовался для подтверждения возможности использования уравнений массового выброса вещества, полученных с помощью численного эксперимента, для инвентаризации выбросов.

### 5.2. Методика и технические средства проведения эксперимента

Прежде всего, тем же способом, что и для  $\text{CO}_2$ , для выбросов  $\text{CO}$  были получены уравнения вида:  $m_{\text{CO}} = A \cdot N_i^2 + B \cdot N_i + C$

Например, для ровности 6 вид уравнения:

$$m_{\text{CO}} = 0.0130227 \cdot N^2 + 0.7918897 \cdot N + 0.0624328$$

Затем эксперимент проводился в следующем порядке:

1. Определение концентрации  $\text{CO}$  в придорожной зоне при различной интенсивности движения и ровности дорожного покрытия;
2. Получение зависимости концентрации  $\text{CO}$  от интенсивности движения при различных значениях ровности;
3. Подтверждение или опровержение полученных с помощью компьютерного эксперимента уравнений для определения количества выбросов

При проведении эксперимента использованы:

- А) Толчкомер Roughometer III, установленный на автомобиль «Нексия», а также толчкомер ТХК-2, установленный на

машине «РАФ», для измерения ровности дорожного покрытия.

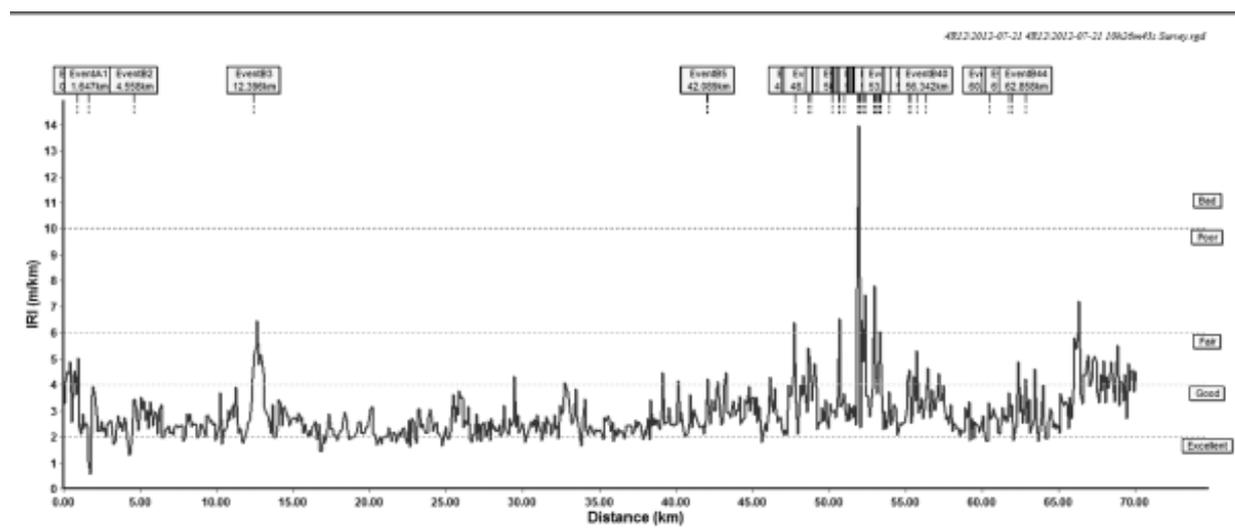
Б) Газоанализатор Vario Plus для измерения концентрации CO, анемометр, термометр Testo.

Для исследований загрязненности атмосферного воздуха в придорожной полосе выбраны участки дорог

- 4P12 (Ташкент - Ходжикент),
- P6 (Ташкент – Газалкент),
- P8 (Ташкент – Майское – Чирчик),
- P2 (Ташкент – Алмалык),

- а также отдельные участки городских улиц между светофорами.

Ровность дороги P12 Ташкент-Ходжикент была исследована по всей длине с помощью толчкомера Roughometer III, установленным на автомобиль «Нексия». Результаты измерений представлены на *рис. 5.1*.



*Рис. 5.1. Результаты измерений ровности покрытия на дороге 4P12 (Ташкент – Ходжикент), выполненных при помощи толчкомера Roughometer III (данные Юнусова А.)*

Ровность дорог P6, P8, P2 и участков некоторых городских улиц была обследована при помощи толчкомера ТХК-2, установленного на автомобиль «РАФ».

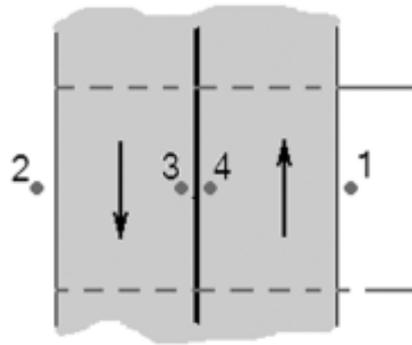
Измерения ровности проводились на выбранных участках методом сплошного контроля.

По результатам измерений выбраны участки с различной ровностью, соответствующей оценкам «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо» (IRI 4; 5,5; 6; 8; 10; 13) [57].

На выбранных участках определены часовая интенсивность и состав потока путем краткосрочного стационарного наблюдения по методу [66]. Измерение интенсивности движения проводилось путем визуальных наблюдений при помощи двух наблюдателей.

Участки дорог для определения интенсивности подбирались таким образом, чтобы получить возможно большее число вариантов интенсивности при одной и той же ровности. Одновременно с определением интенсивности и состава потока замерялась концентрация CO.

Измерение концентрации CO производилось на заранее выбранных по показателям ровности участкам трассы согласно схеме (рис. 5.2).



*Рис. 5.2. Схема измерения концентрации CO*

Поскольку определение влияния метеорологических условий на загрязненность атмосферного воздуха не входило в задачи исследований, измерения проводились в сухую погоду при одинаковых метеорологических условиях: температура воздуха 20-24°C, относительная влажность воздуха 48-50%, скорость ветра 1-2 м/с.

Для получения неискаженных данных о загазованности выбраны участки дорог, на которых отсутствуют лесные полосы, дома или дорожные сооружения (в городских условиях

выбирались такие участки, где дома расположены на достаточном удалении). Средний состав потока: грузовые автомобили 20%, легковые – 80%.

Концентрация CO определялась с помощью газоанализатора Vario Plus по методике ГОСТ 17.2.02.06-99.

Измерения проводились в каждом контрольном створе в четырех точках - на обочинах дороги и по обе стороны разделительной полосы. Высота расположения заборного устройства газоанализатора составляла 1,2м. Осредненные результаты измерений приведены в табл. Приложения 1.

### **5.3. Обработка экспериментальных данных**

Цель проведения натурного эксперимента – сравнение полученных данных с результатами компьютерного эксперимента. Результаты компьютерного эксперимента (количество выбросов) выражены в единицах мощности эмиссии данного вещества (т/км·год). При проведении натурного эксперимента произведены замеры концентрации вещества (мг/м<sup>3</sup>), которая также характеризует количество выбросов. Для сравнения этих разноименных показателей использован следующий метод:

1) По результатам компьютерного эксперимента определяются изменения количества выбросов (в %) в зависимости от ровности для каждого значения интенсивности движения по сравнению с выбросами при ровности IRI 4 («отлично») (табл. П.1.1, П.1.2, П.1.3 приложения 1; рис. 5.3).

Для каждого значения интенсивности количество выбросов при IRI 4 принимается равным 100%.

В качестве примера в табл. 5.1 показаны разности выбросов при IRI 6 и IRI 4.

Аналогичным образом определяются изменения выбросов для остальных значений ровности. По результатам строятся кривые (рис. 5.3).

2) По результатам натурного эксперимента (табл. 5.1) находятся разности между концентрацией CO при каждом значении ровности по сравнению с концентрацией при IRI 4 (в %).

Табл. 5.1.

Разности выбросов при ровности дорожного покрытия IRI 6 и IRI 4

Ровность покрытия		Интенсивность движения, тыс авт/сут									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IRI 4	$M_{CO}$ Т/ГОД·КМ	0,9321	1,7367	2,5505	3,3735	4,205	5,0471	5,8977	6,7575	7,6265	8,5047
	$M_{CO}$ %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
IRI 6	$M_{CO}$ Т/ГОД·КМ	0.86735	1.6983	2.55531	3.43835	4.34745	5.28259	6.24377	7.231	8.24428	9.2836
	$M_{CO}$ %	93.053	97.7891	100.188	101.923	103.37	104.666	105.868	107.007	108.1	109.158
Разность, %		-6.9472	-2.21092	-0.188	1.923	3.37	4.666	5.868	7.007	8.1	9.158

Поскольку концентрация пропорциональна мощности эмиссии, полученные значения могут сравниваться со значениями, полученными в п.1). Пример сравнения результатов приведен на рис. 5.4 для ровности 6 IRI.

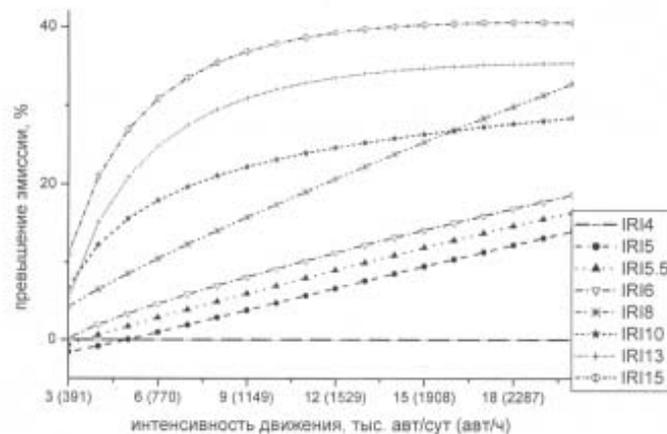
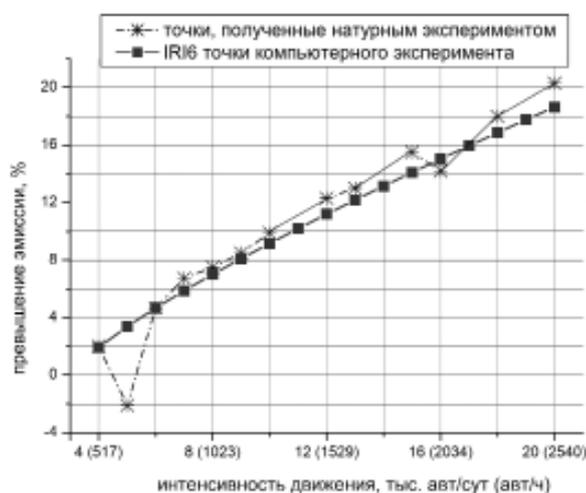


Рис. 5.3. Графики изменения выбросов для различных значений ровности



**Рис. 5.4.** График сравнения результатов натурального и компьютерного экспериментов для ровности IRI 6

#### 5.4. Статистическая обработка результатов

Статистическая обработка результатов произведена со следующими целями:

1. Проверка статистической достоверности результатов натурального эксперимента
2. Сопоставление результатов компьютерного и натурального экспериментов

Двухфакторный дисперсионный анализ [33] проведен по двум факторам:

Фактор А – ровность (6, 8, 10, 13 IRI)

Фактор Б – интенсивность движения (4, 8, 12, 16, 20 тыс.авт/сут)

В качестве повторностей приняты результаты: а) компьютерного (К) и б) натурального (Н) экспериментов (табл. 5.2)

Дисперсионный анализ подтвердил статистическую достоверность зависимости выбранного показателя выбросов от ровности покрытия и интенсивности движения. Степень влияния ровности составляет 46,6%, степень влияния интенсивности 50,1%. Степень влияния повторений статистически значима и составляет 0,2%.

Определяем наименьшую существенную разность (НСР) [33, 88]

$$H_{cp} = t_{кр} \cdot m_d$$

Где  $t_{кр}$  – критерий Стьюдента,  $m_d$  - средняя ошибка выборки.  
 Разность между средними по повтору  $X_{p1} - X_{p2} = 0,9585$   
 оказалась меньше  $N_{CP0,95} = 1,265977$

Табл. 5.2.

*Сопоставление результатов  
 компьютерного и натурального эксперимента*

	6 IRI		8 IRI		10 IRI		13 IRI	
	К	Н	К	Н	К	Н	К	Н
3	0,19	-	4,25	4	6,81		5,32	6
4	1,92	2	6,51	7	12,19	12,5	15,1	14,5
5	3,37	3,33	8,55	8	15,57	-	20,97	22,05
6	4,67	4,67	10,45	-	17,93	17	24,82	26,4
7	5,87	5,71	12,26	12,1	19,69	21,1	27,51	-
8	7,01	7,5	14,02	14,5	21,07	22,6	29,46	31,25
9	8,1	8,26	15,73	-	22,19	-	30,91	-
10	9,16	9,6	17,4	-	23,13	25,2	32,01	33,3
11	10,19	-	19,04	19,65	23,94	-	32,87	-
12	11,19	12,3	20,66	22	24,64	24	33,53	33
13	12,18	13	22,25	-	25,27	26,12	34,04	-
14	13,15	-	23,81	25,1	25,84	26,2	34,44	-
15	14,1	15,54	25,35	-	26,35	-	34,75	36,2
16	15,03	14,2	26,88	28,5	26,93	28,6	34,98	37,3
17	15,95	-	27,27	29,7	28,38	-	35,15	37,26
18	16,86	18	27,68	-	29,87	32	35,28	-
19	17,76	-	28,06	29,8	31,33	-	35,36	-
20	18,64	20,3	28,43	30,1	32,78	35,1	35,41	38,2

Следовательно, разницей между результатами натурального и компьютерного эксперимента можно пренебречь и считать, что они подчиняются одному и тому же закону.

**Выводы**

Поскольку статистическая обработка результатов натурального и компьютерного экспериментов показала, что они подчиняются одному и тому же закону, можно считать, что практическое использование результатов компьютерного эксперимента научно обосновано.

## Глава 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЩЕРБА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ И ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее наглядное представление об ущербе ОС можно получить через его денежное выражение. Вопросы денежного выражения ущерба, наносимого окружающей среде различными загрязнениями отражены в ряде работ [4, 24, 50, 52, 62, 65, 104]. Работы [94, 118] посвящены вопросам экономического регулирования транспортных выбросов. В РУз в целях экономического регулирования загрязнения окружающей среды применяются компенсационные выплаты [64], но пока отсутствуют методики подсчета ущерба, наносимого вредными выбросами. Поэтому воспользуемся расценками и нормами, принятыми в других странах.

### **6.1. Определение ущерба от выбросов парниковых газов**

Определение ущерба от выбросов парниковых газов представляет собой проблему, т.к. чрезвычайно трудно определить как источник выбросов, так и экономические последствия от увеличения количества этих газов в атмосфере [31]. Тем не менее в разных странах мира разрабатываются методы оценки экономического ущерба от парниковых газов [36, 52, 110, 122]

Для подсчета ущерба от парниковых газов в настоящей работе использованы цены, соответствующие получаемым по европейской методике «Extern E» [46, 47, 83, 97, 101].

Принимая стоимостные показатели последствий от воздействия выбросов парниковых газов:  $\text{CO}_2$  - 3,33 у.е./т;  $\text{CH}_4$  - 77,43 у.е./т;  $\text{N}_2\text{O}$  2267 у.е./т. [83], определим суммарный ущерб, наносимый парниковыми газами (табл. 6.1).

### **6.2. Определение ущерба от загрязнения атмосферного воздуха в придорожной зоне**

Для получения представления о размерах ущерба воспользуемся «Временной методикой определения предотвращения экологического ущерба», принятой в РФ [15]. В соответствии с методикой, оценка ущерба от выбросов загряз-

Таблица 6.1

Суммарный ущерб, наносимый парниковыми газами

Выбросы парниковых газов, т/год			Ущерб, у.е./год
Тип покрытия		Σ т/год	
Кап	Облегченные		
CO <sub>2</sub> , т/год			
2689315	625572	3314887	11038574
CH <sub>4</sub> , т/год			
640,03	149,11	789,14	61103
N <sub>2</sub> O, т/год			
34,041	72,97	387,011	876220
Итого			11975897

нений в атмосферный воздух определяется по формуле (6.1):

$$Y = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot \sum M_i \cdot A_i, \text{ у.е./год} \quad (6.1),$$

где  $\gamma$  – нормативная константа, переводящая условную оценку выбросов в денежную, у.е./усл.т (усл. т. – условная тонна);  $\gamma = 1,88$  у.е./усл. т.

$f$  – поправка, учитывающая характер рассеивания примесей в атмосфере;  $f = 10$  (при выбросе аэрозолей АТС);

$\sigma$  – показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха, зависящий от типа загрязняемой территории (табл.6.4)

$A_i$  – показатель относительной агрессивности  $i$ -го вредного вещества: для CO  $A_1 = 1$ ; для SO<sub>2</sub>  $A_2 = 22$ ; NO<sub>x</sub>  $A_3 = 41,1$ ; CxHy  $A_4 = 3,16$ ;

твердые частицы  $A_5 = 41,6$ ; NH<sub>3</sub>  $A_6 = 10,4$ .

$M_i$  – масса выброса  $i$ -го вредного вещества, т./год

В таблицах 6.2, 6.3 приведены удельные выбросы ВВ для каждого этапа эксперимента, определенные как суммы произведений выбросов каждого вещества на соответствующий показатель агрессивности и выраженные в условных тоннах на километр.

**Таблица 6.2**

*Выбросы ВВ для дорог с капитальным асфальтобетонным покрытием при ровности 5,2 IRI (3,22 балла)*

Этапы эксп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ср.год. инт. движ., авт/сут	742	1485	2226	2970	3710	4453	5195	6679	7422
Уд. выбросы, усл.т./год·км	44,3	87,5	131,0	174,1	217,6	260,9	304,4	391,6	435,8

**Таблица 6.3**

*Выбросы ВВ для дорог с облегченным а/б покрытием при ровности 7,08 IRI (3,22 балла)*

Этапы эксп.	1	2	3	4	5
Ср.год. инт. движ., авт/сут	406	809	1619	2428	3560
Уд. выбросы, усл.т./год·км	25,5	49,3	97,7	146,0	213,7

**Таблица 6.4**

*Значения коэффициента  $\sigma$  для различных территорий*

№ п/п	Тип загрязняемой территории	$\sigma$
1	Курорты, санатории, заповедники	10
2	Пригородные зоны, дачные поселки	8
3	Населённые зоны ( 30 чел/га )	3
4	Пашни	0,5
5	Сады, виноградники	1
6	Пастбища	0,05

Разбивка дорог РУЗ на зоны проводилась по дорогам Ташкентской и Самаркандской областей и выглядит следующим

образом:

Населенные зоны	– 30%
Пашни	– 35%
Пастбища	– 20%
Сады, виноградники	– 12%
Пригороды, дачи	– 2%
Курорты, заповедники	– 1%

На основании вышеизложенного был определен удельный ущерб от загрязнения окружающей среды, а также по всей протяженности дорог (табл. 6.5 – 6.6).

**Таблица 6.5**

*Ущерб по всей протяженности капитальных дорог*

№ этапа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Протяжен- ность, Км	2467	1230	1230	1240	1241	1240	1240	596	596
Ущерб, у.е./год км	1220	2410	3608	4792	5993	7186	8384	10785	12003
Ущерб, у.е./год	3009987	2964177	4437840	5942080	7437437	8910268	10395912	6428098	7153669
Итого 56679468 у.е./год									

**Таблица 6.4**

*Значения коэффициента  $\sigma$  для различных территорий*

№ этапа	1	2	3	4	5
Протяж., км	1233	1234	821	821	821
Ущерб, у.е./год·км	702	1358	2691	4021	5886
Ущерб, у.е./год	865936	1675525	2209229	3301323	4832160
Итого 12884173 у.е./год					

### 6.3. Определение ущерба от локальных загрязнений

Локальные загрязнения образуются за счёт предприятий, производящих топливо; материалы для ТО и ремонта АТС; гравий и асфальтобетон; а также за счет автопредприятий.

Можно считать, что все эти предприятия расположены в поселках с одноэтажной застройкой с плотностью населения 30 чел/га.

Ущерб ОС от локальных загрязнений системы «дорога-автомобиль» определяется по формуле (6.1) при  $\sigma = 3$ ;  $f = 0,9$  [18].

Количество выбросов от перечисленных предприятий и ущерб приведены в табл. (6.7 - 6.11) при IRI 5,2 для дорог с капитальным покрытием и IRI 7,08 с облегченным.

**Таблица 6.7**

*Удельный ущерб для дорог с капитальным покрытием*

Этапы эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднегодовая интенсивность движения, авт/сут	742	1485	2226	2970	3710	4453	5195	6679	7422
Удельные выбросы, усл.т/км	86,2	168,1	248,2	328,0	404,0	488,4	568,4	731,1	814,0
Ущерб, у.е./год км	437,6	853,3	1259,9	1664,9	2050,7	2479,1	2885,2	3711,1	4131,9

Ущерб от вредных выбросов носит скрытый характер. В повседневной жизни человек не замечает этого ущерба: увеличения частоты заболеваний, снижения качества продуктов и т.п. Приведенный расчет показывает, что ущерб, наносимый окружающей среде системой «дорога-автомобиль» достаточно ощутим. Поэтому проведение мониторинга с целью выявления превышения выбросов за счет несоблюдения норм ровности покрытий оправдано.

**6.4. Зависимость шумового загрязнения придорожной зоны и показатели риска ДТП от ровности покрытия**

**Таблица 6.8**

*Ущерб окружающей среде для всей протяженности дорог  
(для дорог с капитальным покрытием)*

Этап	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Итого
Протяжен- ность, км	2467	1230	1230	1240	1241	1240	1240	596	596	
Ущерб, у.е./км год	437,6	853,3	1259,9	1664,9	1664,9	2050,7	2479,1	2885,2	3711,1	
Ущерб ,у.е/г	1079559	1049559	1549677	2064476	2544919	3074084	3577648	2211816	2462612	19614350

**Таблица 6.9**

*Удельный ущерб для дорог с облегченным  
покрытием при IRI 7,08*

Этап	1	2	3	4	5
Среднегодовая интенсивность движения, авт/сут	406	809	1619	2428	3560
Удельные выбросы, усл.т/год·км	55	100,2	193,2	287,0	423,9
Ущерб, у.е./год·км	279,2	508,6	980,7	1456,8	2151,7

**Таблица 6.10**

*Ущерб для всей протяженности  
дорог с облегченным покрытием*

Этап	1	2	3	4	5	Итого
Протяженность, км	1233	1234	821	821	821	
Ущерб, у.е./год км	279,2	508,6	980,7	1456,8	2151,7	
Ущерб, у.е./год	344254	627612	805155	1196033	1766546	4739600

Ущерб от системы «дорога-автомобиль» для всей протяженности дорог при ровности покрытия 3,22 балла представлен в таблице 6.11.

**Таблица 6.11**

*Ущерб от дорог с асфальтобетонным покрытием  
(капитальным и облегченным) при ровности,  
соответствующей 3,22 балла*

<b>Вид загрязнения</b>	<b>Ущерб, у.е./год</b>
Парниковые газы	11975897
Придорожная зона	69563641
Локальные загрязнения	24353950
Итого	105893488

В конечном итоге проведенные исследования преследовали цель дать рекомендации по назначению таких норм ровности, которые обеспечивали бы наименьший вред, наносимый окружающей среде системой «дорога-автомобиль». Однако, прежде чем переходить к вопросу о рекомендации норм ровности, необходимо ознакомиться с некоторыми факторами, также зависящими от ровности покрытия.

Ровность – показатель, от которого зависят многие процессы и явления при эксплуатации системы «дорога-автомобиль». Недаром при оценке состояния дорог ровности присваивается наибольший коэффициент значимости [57].

Остановимся на некоторых показателях (помимо рассмотренных выше скорости и количества выбросов), в значительной степени определяемых ровностью дорожного покрытия:

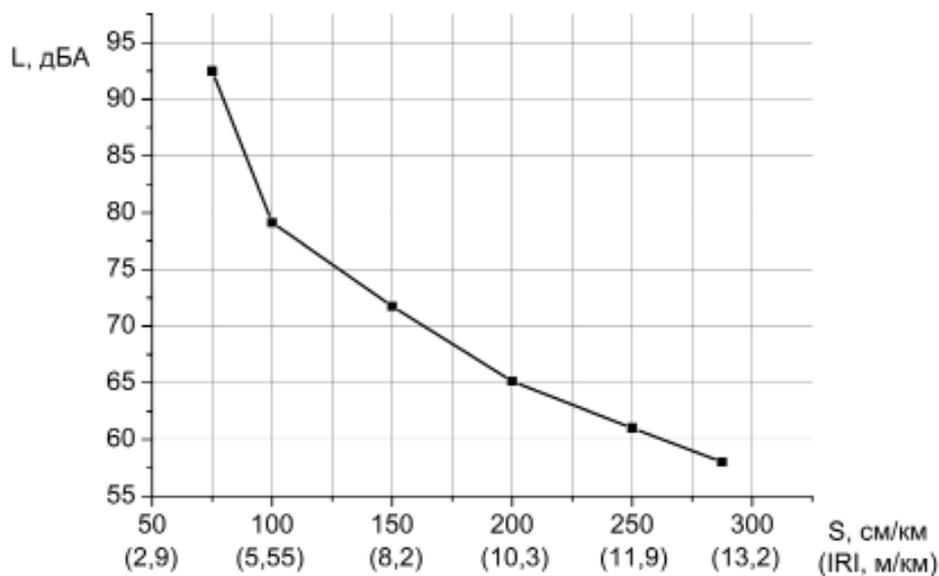
- шумовое загрязнение примагистрального пространства (увеличивается по мере снижения показателя ровности)
- показатель риска ДТП (число ДТП на 1 млн. авт.-км) (изменяется по параболе, имеющей максимум при индексе ровности 5-6 IRI для всех типов дорог) [89]
- затраты на содержание дорог в зависимости от назначенной допустимой ровности покрытия (изменяются по

некоторым кривым, имеющим точку минимума при различных значениях допустимой ровности в зависимости от интенсивности движения. При увеличении интенсивности движения точка минимума смещается в сторону уменьшения индекса ровности) [45]

Рассмотрим более подробно шумовое загрязнение и показатели риска ДТП.

1) Шумовое загрязнение примагистрального пространства.

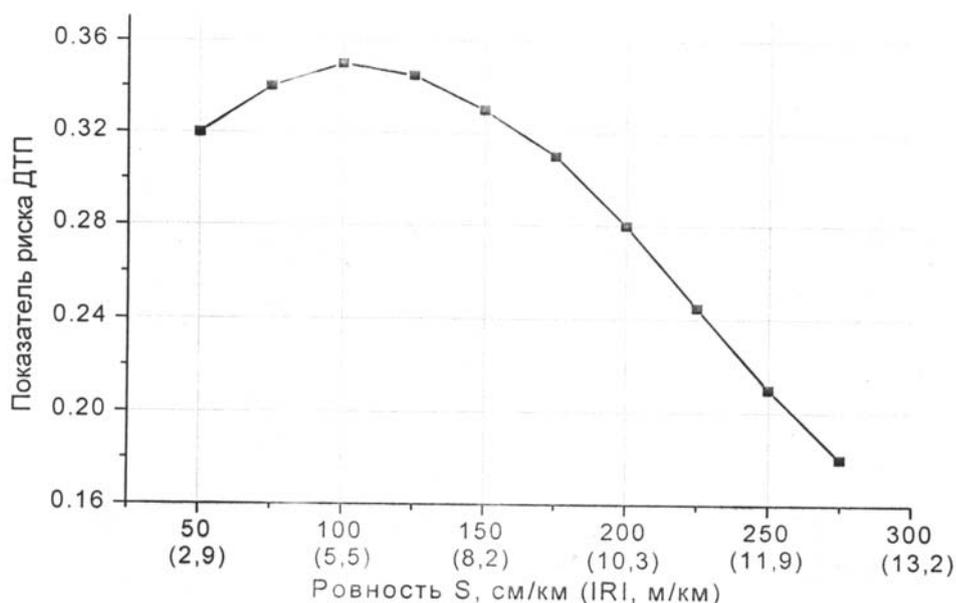
Шум от автомобильного транспорта – это самый распространённый вид неблагоприятного экологического воздействия на организм человека. Транспортные средства являются источником внешних шумов, которые достигают 79-92 дБ при нормальном уровне 55-65 дБ. Источниками транспортного шума на автомобильных дорогах являются двигатель автомобиля, его техническое состояние, режим движения транспортных потоков, их состав и интенсивность движения. Также на уровень шума влияют ровность и шероховатость проезжей части. График зависимости среднего уровня шума для дорог с асфальтобетонным покрытием представлен на рис. 6.1 [19]



**Рис. 6.1.** График зависимости уровня шума автотранспорта от ровности дорожного покрытия

## 2) Возникновение ДТП

По данным М.С. Стороженко (ХНАДУ, 2009) [81] удельный вес причин возникновения ДТП из-за дорожных условий по ровности в среднем составляет 20,5%. Исследования В.В. Чванова и Д.А. Стрижевского [89] показали, что зависимость показателя риска ДТП от ровности дорожного покрытия для всех типов дорог (двухполосные, многополосные с разделительной полосой и без нее) имеет общий характер (рис. 6.2)



**Рис. 6.2.** Зависимость показателя риска ДТП от ровности дорожного покрытия

По мере увеличения индекса ровности IRI до значений 5-6 показатель риска ДТП первоначально возрастает, а затем постепенно снижается.

Такой характер зависимости объясняется особенностями восприятия водителем повреждения покрытия проезжей части и выбором соответствующих моделей поведения.

Исследования показали, что по мере увеличения показателя ровности IRI перераспределяется вероятность наличия отдельных типов повреждений покрытия: возрастает доля повреждений, существенных с точки зрения выбора водителями безопасной скорости движения (выбоины, просадки,

гребенка и т.п.) На основании этого можно сделать вывод, что до тех пор, пока влияющие на режим и траекторию движения автомобилей повреждения покрытия остаются неожиданными для водителя, увеличение их количества влечет за собой рост показателя риска ДТП. Большое же количество таких дефектов, присущее участкам дорог с явно неудовлетворительной ровностью, вынуждает водителей существенно снижать скорость, что способствует уменьшению показателя риска ДТП. В этом случае психологическая модель поведения водителя определяется преобладанием мотива безопасности над мотивом скорости.

Улучшение состояния покрытия по ровности способствует существенному сокращению дорожной аварийности. Так, уменьшение индекса ровности IRI может способствовать снижению риска ДТП до 40% на многополосных и до 17% на двухполосных дорогах в зависимости от исходных значений показателя ровности (табл. 6.12)

Табл. 6.12 [89]

*Снижение риска ДТП в зависимости от показателя ровности*

№ п/п	Уменьшение индекса IRI, м/км	Снижение показателя риска ДТП (%) по типам дорог		
		Многополосные дороги с разделительной полосой	Многополосные дороги без разделительной полосы	Двухполосные дороги
1	от 3 до 2	22,7	21,4	9
2	от 4 до 2	34,6	33,3	11,8
3	от 5 до 2	38,0	37,1	14,3
4	от 6 до 2	39,3	38,8	16,7

Т.о., выбор оптимальной ровности можно считать достаточно сложной проблемой.

Функции цели выглядят следующим образом:

скорость  $V \rightarrow \max$  (до разумного предела)

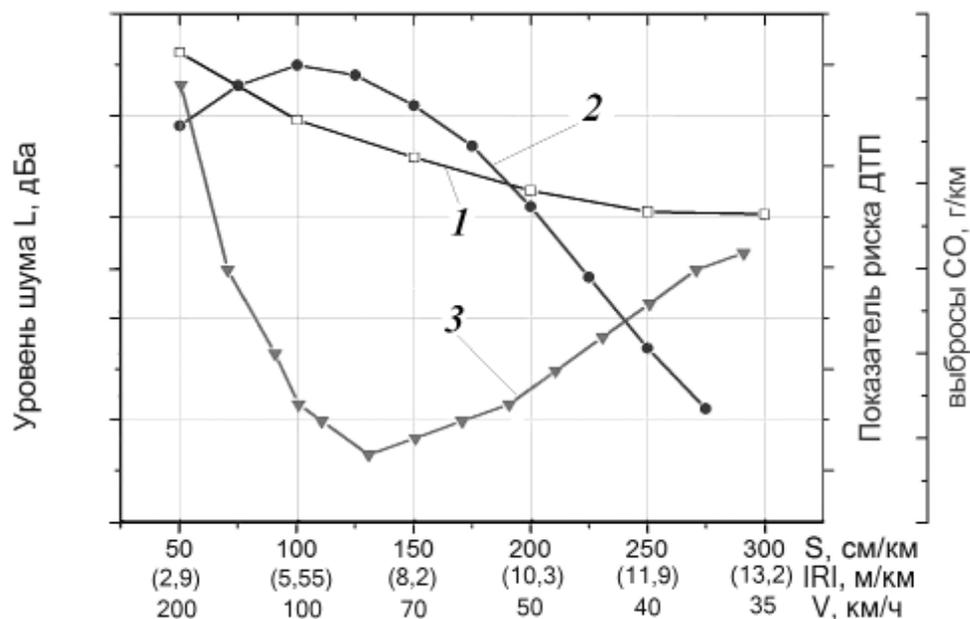
количество выбросов  $M_x \rightarrow \min$

шумовое загрязнение  $L \rightarrow \min$

показатель риска ДТП  $\rightarrow \min$

затраты на содержание дорог  $Z \rightarrow \min$

Изобразим перечисленные величины в виде безмасштабных графиков, представляющих общий характер изменения величин, а также показывающих положения точек максимума и минимума (рис. 6.3)



**Рис. 6.3.** Графики зависимости различных видов воздействия АТС на ОС от ровности

1 – уровень шума, 2 – показатель риска ДТП, 3 – выбросы CO

Значения индекса ровности, при котором наблюдаются минимумы выбросов, минимумы затрат и максимумы показателей риска ДТП приведены в табл. 6.13. Скорость и уровень шума монотонно увеличиваются с уменьшением индекса ровности.

Приведенные данные показывают, что при интенсивности движения  $N < 3000$  авт/сут минимальные выбросы при минимальных затратах происходят при ровности покрытия, оцениваемой положительными оценками, но оказывающейся в зоне максимального показателя риска ДТП.

При увеличении  $N$  оптимальная с точки зрения экономии средств (в условиях ограниченного финансирования) ров-

ность не может обеспечить минимума выбросов, но позволяет до некоторой степени удалиться от опасного с точки зрения ДТП интервала ровностей.

Табл. 6.13

*Минимумы выбросов и затрат, максимумы показателей риска ДТП в зависимости от индекса ровности*

	Интенсивность движения, авт/сут								
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	9000	10000
Мин. выбросы при IRI <sub>доп</sub>	6,5	6	5	5	4	4	3,5	3	2,5
Мин. затраты при IRI <sub>доп</sub>	6,5	7	5	5,5	4,5	4,3	4	4	4
Макс. Показатель риска ДТП	5...6	5...6	5...6	5...6	5...6	5...6	5...6	5...6	5...6

Интерес представляет эколого-экономический оптимум ровности покрытий при современных технологиях и возможностях финансирования. Как уже упоминалось выше (п. 2.1) нахождение такого оптимума представляет собой многокритериальную задачу, при решении которой возникает вопрос, что же следует считать наилучшей альтернативой в задаче с несколькими целевыми функциями, которые противоречивы и достигают максимума в различных точках множества альтернатив? Считается, что если множество альтернатив  $X$  и целевые функции  $f_1(x) \dots f_n(x)$  заданы, то этого вполне достаточно для объективного определения оптимального решения. В ряде практических случаев может использоваться модель, в которой глобальное качество альтернативы представляет собой сумму локальных качеств, т.е.

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^n f_i(x)$$

Такая модель получила название принципа равномерной оптимальности. Им часто пользуются в задачах, в которых критерии имеют более или менее четкую стоимостную окраску. Если каждый критерий может быть охарактеризован в денежных единицах, то сумма критериев соответствует доходу от выбора альтернативы  $X$  [59]. Возможность охарактеризовать в денежном выражении транспортные расходы (затраты на содержание АДК), а также затраты на предотвращение экологического ущерба, наносимого ОС, позволили, взяв за основу экономико-математическую модель обоснования требований к ровности, полученную О.А. Красиковым [45], получить эколого-экономическую модель требований к ровности, в которую введен в денежном выражении ущерб, наносимый ОС автотранспортным комплексом.

Очевидно, что оптимум по такой модели может быть определен только приближенно. При определении оптимума приняты следующие упрощения:

- в качестве ущерба ОС учитывается только ущерб от загрязнения атмосферы;
- ущерб от шумовых загрязнений не учитывается, поскольку исследования касаются только дорог общего пользования (без учета городских улиц и дорог, проходящих через крупные населенные пункты), где воздействие шума не имеет первостепенного значения;
- в расчет приняты затраты на предотвращение всех ДТП (без вычленения ДТП, связанных с ровностью).

### **6.5. Эколого-экономическое заключение**

Взаимосвязь между ровностью покрытия, загрязнением окружающей среды и экономическим ущербом должно выражаться эконометрической моделью [40, 90, 98, 107].

В результате проведенного исследования для каждой интенсивности движения определена оптимальная с точки зрения экологии ровность покрытия. Поддержание ровности покрытия на определенном уровне требует определенных финансовых затрат.

Исследования О.А. Красикова (КаздорНИИ) [45] позволили выявить для каждой интенсивности движения ровность покрытия, требующую минимальных финансовых затрат.

Экономико-математическая модель обоснования требований к ровности выглядит следующим образом [45]:

$$R_S = \left( \sum_{t_i=0}^{T_R} \frac{Z_{mp}(t)}{(1 + E_{нп})^{t_i}} + \sum_1^n \frac{Z_{тек.р}}{(1 + E_{нп})^{t_i}} + \sum_{t_i=0}^{T_R} \frac{Z_{сод}(t)}{(1 + E_{нп})^{t_i}} \right) \rightarrow \min \quad (6.2)$$

Где  $R_S$  – суммарные дисконтированные затраты\*; тыс. у.е./км;

$T_R$  – срок суммирования затрат по годам службы покрытия  $t_1$ , равный сроку службы дорожной одежды, лет;

$Z_{тр}$  – годовые транспортные расходы, у.е., отнесенные к 1 км пробега автомобилей (включая расходы, связанные с ДТП);

$E_{нп}$  – нормативный коэффициент для приведения разновременных затрат  $E_{нп} = 0,08$  [93];

$n$  – количество текущих ремонтов за срок  $T$ , шт.;

$Z_{тек.р.}$  – затраты на текущий ремонт покрытия, осуществляемого в год  $t_1$ , тыс. у.е.;

$Z_{сод}$  – годовые текущие расходы на содержание покрытия, тыс. у.е.

Затраты, определенные по модели (6.2) представлены на рис. 6.4. Графики затрат [45] наложены на графики «выбросы - ровность», изображенные ранее (рис. 3.3). Из рисунка видно, что минимум затрат достигается примерно при той же ровности, что и минимум выбросов при интенсивности движения до 5 тыс. авт./сут. Далее минимум выбросов смещается относительно минимума затрат в сторону уменьшения показателей ровности.

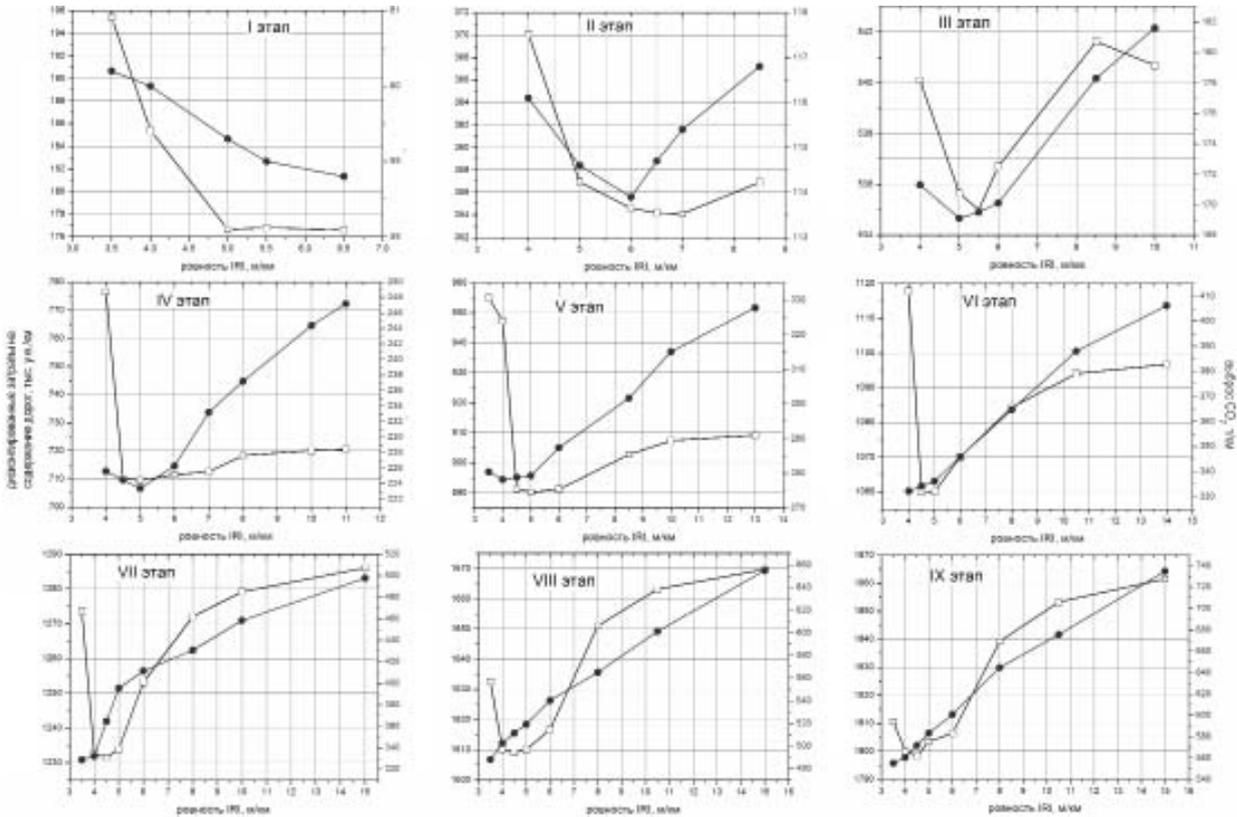
Модель (6.2) составлена без учета ущерба, наносимого окружающей среде вредными выбросами системы «дорога-автомобиль». Модифицированная эколого-экономическая мо-

\*Дисконтирование затрат – приведение будущих затрат к нынешнему периоду, установление сегодняшнего эквивалента суммы, выплачиваемой в будущем. Современная стоимость будущей суммы определяется с помощью дисконтирующего множителя, зависящего от нормы банковского процента и периода дисконтирования [87, 108]

дель должна выглядеть следующим образом:

$$R_S = \left( \sum_{t_i=0}^{T_R} \frac{Z_{mp}(t)}{(1 + E_{HII})^{t_i}} + \sum_1^n \frac{Z_{mek.p}}{(1 + E_{HII})^{t_i}} + \sum_{t_i=0}^{T_R} \frac{Z_{сод}(t)}{(1 + E_{HII})^{t_i}} + \sum_{t_i=0}^{T_R} \frac{Y_{щ}(t)}{(1 + E_{HII})^{t_i}} \right) \rightarrow \min \quad (6.3)$$

где последнее слагаемое – ущерб, наносимый окружающей среде системой «дорога-автомобиль», тыс. у.е./км,



**Рис. 6.4** Сравнение графиков «ровность – выбросы CO<sub>2</sub>» и «ровность – затраты на содержание дорог» - графики «ровность – выбросы CO<sub>2</sub>», - графики «ровность – дисконтированные затраты

определяемый по формуле «6.4»:

$$\sum_{t_i=0}^{T_R} \frac{Y_{щ}(t)}{(1 + E_{шн})^{t_i}} = \sum_{t_i=1}^{T_R} \frac{Y_{щПГ}(t_i)}{(1 + E_{шн})^{t_i}} + \sum_{t_i=1}^{T_R} \frac{Y_{щПЗ}(t_i)}{(1 + E_{шн})^{t_i}} + \sum_{t_i=1}^{T_R} \frac{Y_{щПЗ}(t_i)}{(1 + E_{шн})^{t_i}} \quad 6.4$$

где 
$$\sum_{t_i=1}^{T_R} \frac{Y_{щПГ}(t_i)}{(1 + E_{шн})^{t_i}} = \sum_1^{18} \frac{Y_{щCO_2}(t_i)}{(1 + E_{шн})^{t_i}} + \sum_1^{18} \frac{Y_{щCH_4}(t_i)}{(1 + E_{шн})^{t_i}} + \sum_1^{18} \frac{Y_{щN_2O}(t_i)}{(1 + E_{шн})^{t_i}}$$

- ущерб от парниковых газов;

$\sum_{t_i=1}^{T_R} \frac{УщПЗ(t_i)}{(1 + E_{nn})^{t_i}}$  - ущерб, наносимый ОС выбросами в придорожной зоне;

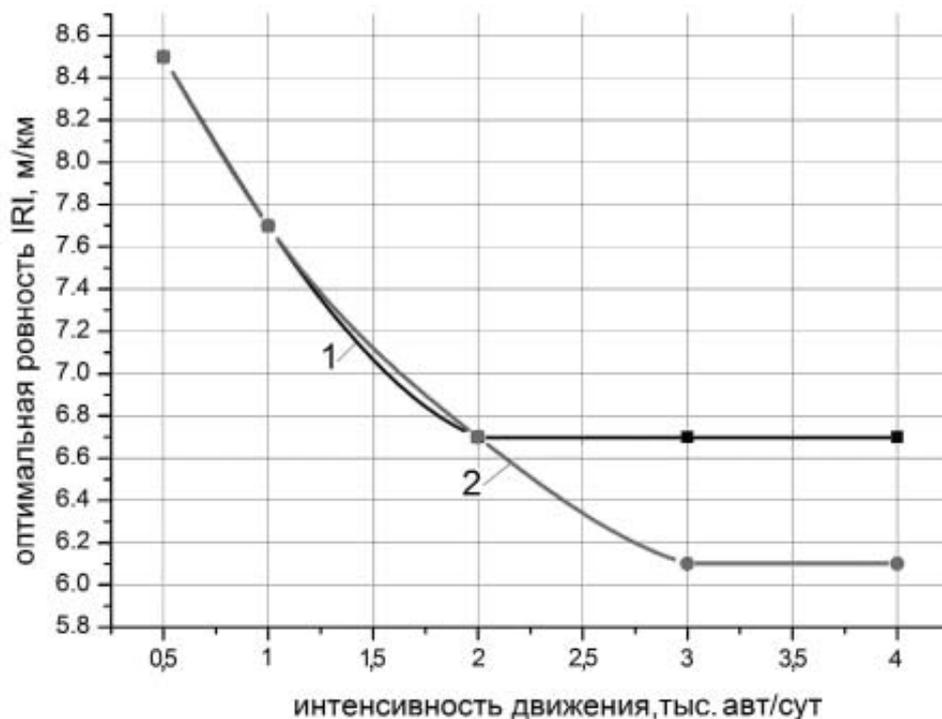
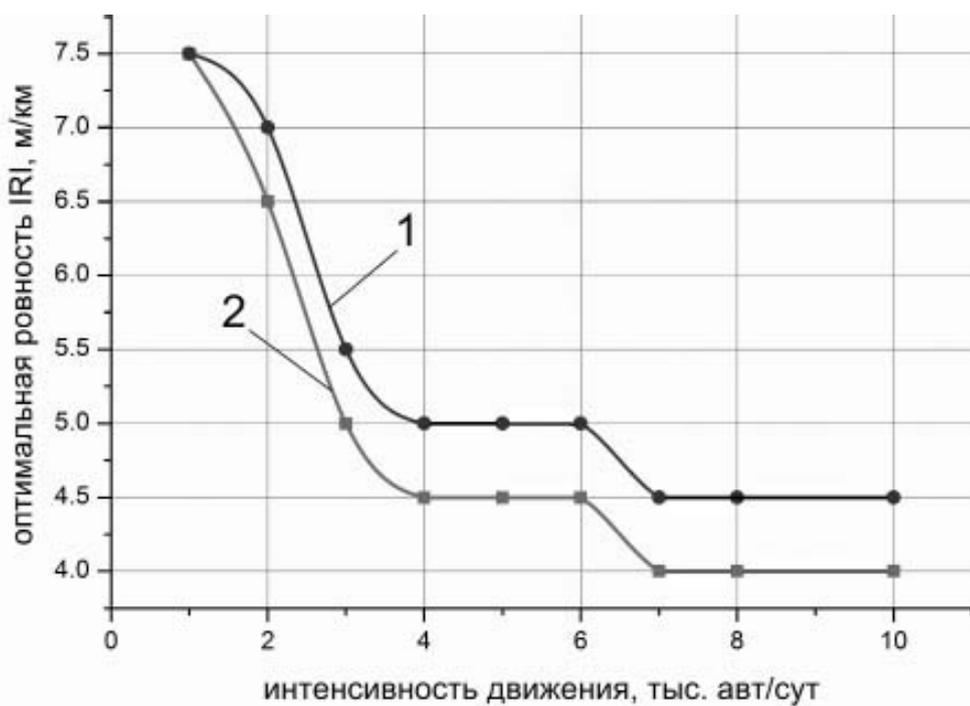
$\sum_{t_i=1}^{T_R} \frac{УщЛЗ(t_i)}{(1 + E_{nn})^{t_i}}$  - ущерб от локальных загрязнений.

После определения ущерба для каждого варианта во всех этапах для всех компонентов загрязняющих веществ определяются суммарные дисконтированные затраты для выявления эколого-экономического оптимума ровности дорожного покрытия [121].

Полученные результаты показывают, что учет ущерба окружающей среде вызывает смещение общей суммы затрат на содержание дорог (в зависимости от допустимой ровности) в сторону улучшения показателей ровности покрытий. Значения оптимальных значений ровности показаны на рис. 6.5.

Из представленных графиков можно сделать следующий вывод:

При интенсивности движения  $\geq 5000$  авт/сут ровность дорожного покрытия капитального типа не должна превышать 4-4,5 IRI. Для дорог с покрытием облегченного типа ровность не должна превышать 6 IRI при интенсивности  $\geq 3000$  авт/сут. Эти значения ровности являются эколого-экономическим оптимумом состояния покрытий. Учитывая, что ровность 6 IRI попадает в зону превышения риска ДТП, следует постепенно отказываться от такого значения допустимой ровности для любой интенсивности движения.



**Рис. 6.5.** Значение оптимальной ровности дорожного покрытия в зависимости от интенсивности движения:

а) - для дорог с капитальным покрытием,

б) - для дорог с облегченным покрытием

1 – кривая оптимальной ровности без учета ущерба окружающей среде,

2 – кривая оптимальной ровности с учетом ущерба окружающей среде

### 6.6. Некоторые пути снижения вредного воздействия АДК на ОС

До тех пор, пока будут использоваться автомобили с ДВС (по прогнозам не менее 50 лет), кардинального изменения количества вредных выбросов не может произойти, особенно учитывая неуклонный рост парка автомобилей. Поэтому необходимо развивать все возможные направления, могущие способствовать защите ОС.

Снижение вредного воздействия АДК на ОС может осуществляться как за счет усовершенствования конструкции автомобиля, так и за счет совершенствования технологии строительства [129] и ремонта дорог.

Некоторые направления совершенствования автомобиля:

- снижение массы автомобиля;
- совершенствование конструкции двигателя [10, 84];
- применение альтернативных видов топлива [10, 115];
- совершенствование выхлопной системы;
- применение съемных фильтров, надеваемых на выхлопную трубу при проезде густонаселенных районов, а также при выполнении работ в замкнутом пространстве;
- применение экоспойлеров, устанавливаемых на фронтоне крыши транспортного средства при проезде охраняемых территорий и предназначенные для очистки воздушной среды [87];
- применение энергосберегающих устройств, действие которых основано на использовании энергии движущихся на спуск автомобилей [8].

В качестве примеров совершенствования технологии дорожно-ремонтных работ можно привести:

- применение передовых технологий ямочного ремонта и поверхностной обработки дорог, основанных на применении более совершенных связующих материалов [27, 39]. Такие технологии позволяют увеличить гарантийные послеремонтные сроки с сохранением или даже улучшением качества покрытия. в результате достигается более высокая скорость

автомобиля и соответственно – уменьшение выбросов;

- применение асфальтобетона с открытыми порами для поглощения шума. Выяснилось, что эффективность снижения шума сильно зависит от содержания пустот, а также от максимального размера щебня, который в асфальтовом покрытии не должен превышать 8мм [5, 123]. Очевидно, что использование всех возможных путей снижения вредного воздействия АТС позволит поддерживать ущерб, наносимый ОС, на минимальном возможном уровне.

### **Выводы**

1. На основании проведенного совместного анализа полученных автором зависимостей ущерба окружающей среде от ровности дорог и полученных другими исследователями зависимостей дисконтированных затрат на содержание дорог от ровности, был выявлен эколого-экономический оптимум ровности дорожного покрытия.

Таким образом, проведенные исследования позволили обосновать новый подход к требованиям, предъявляемым к ровности дорожных покрытий при строительстве и ремонте дорог.

2. На основании полученных результатов следует признать необходимым повышение требований к нормам ровности дорожных покрытий с учетом обеспечения уменьшения ущерба, наносимого ОС, безопасности и удобства движения, что одновременно будет способствовать гармонизации отечественных и международных норм ровности, увеличению межремонтных сроков покрытий и, соответственно, снижению затрат на производство дорожных работ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексное исследование процессов, связывающих состояние дороги и автомобиля с количеством вредных выбросов системы «дорога-автомобиль», позволило разработать научные и методологические основы экологического мониторинга выбросов автомобильно-дорожного комплекса, базирующегося на определении ровности дорожного покрытия, используемой в качестве критерия оценки состояния окружающей среды.

Получены новые результаты, устанавливающие зависимость выбросов при эксплуатации и ремонте дорог и автомобилей, производстве топлива и ремонтных материалов от ровности дорожного покрытия, а также позволяющие рассчитать экономический ущерб, причиняемый народному хозяйству этими выбросами.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. На основании системного анализа изменения состояния дорожного покрытия в период жизненного цикла дороги, состояния транспортного потока и изменения количества его выбросов разработана структура системы экологического мониторинга с подсистемами прогнозирования и управления и рекомендациями по восстановлению экосреды. Предложено использование кластерной выборки объектов мониторинга и использование для проведения оценки косвенного показателя – ровности дорожного покрытия.

2. Уточнена математическая зависимость скорости автомобиля от ровности дорожного покрытия и зависимость выбросов транспортных средств от ровности.

3. На основании численного эксперимента установлена корреляционная зависимость между ровностью дорожного покрытия и выбросами от различных процессов автодорожного комплекса. С помощью компьютерного моделирования и

интерполяции по методу Ньютона получена математическая модель, связывающая показатели ровности дорожного покрытия, интенсивность движения транспортных средств и выбросы автодорожного комплекса. Установлено, что эксплуатация дорог с неудовлетворительным состоянием покрытия вызывает значительное увеличение выбросов.

4. Разработан принципиально новый метод проведения мониторинга выбросов системы «дорога-автомобиль», основанный на контроле состояния дорожного покрытия и транспортного потока. На основании данного метода создана методика проведения мониторинга и инвентаризации парниковых газов системы «дорога-автомобиль» для дорог общего пользования РУз. Предложенный метод проведения мониторинга дорог с целью инвентаризации выбросов, а также фиксации превышений выбросов может применяться в настоящее время, а также служить методологической базой при составлении новых методик, которые будут разрабатываться по мере изменения конструкций автомобилей, применяемого топлива и технологии дорожно-ремонтных работ.

5. Модифицирована интегральная модель, обеспечивающая нахождение эколого-экономического оптимума состояния автомобильных дорог. Определен ущерб, наносимый окружающей среде выбросами в течение жизненного цикла асфальтобетонных дорог, который составляет ориентировочно 105893500 у.е./год.

На основании проведенных исследований разработана «Методика инвентаризации выбросов парникового газа  $\text{CO}_2$  автодорожным комплексом на дорогах общего пользования по показателю ровности», позволяющая организовать оценку выбросов дорожных хозяйств на основании выборочной проверки ровности дорожного покрытия. Данная методика может служить альтернативой методике МГЭИК по оценке выбросов парниковых газов от мобильных источников.

Проведенные исследования позволяют решить проблему мониторинга и инвентаризации вредных выбросов от автомобильно-дорожного комплекса, имеющую большое значение для народного хозяйства Республики Узбекистан.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каримов И.А. Выступление Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на пленарном заседании Саммита ООН «Цели развития тысячелетия» // Народное слово. №161. (5173). 22.09.2010.

2. Каримов И.А. Наша главная цель – решительно следовать по пути широкомасштабных реформ и модернизации страны / Доклад на заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2012 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2013г.// Народное слово. №13 (5657). 19.01.2013. С. 1 – 3.

3. Каримов И.А. Узбекистан на пороге достижения независимости. Т.: Узбекистан, 2011. – 384с.

4. Авраменко А.А. Экономическая оценка ущерба, причиненного объектам животного мира загрязнением окружающей среды. Дисс. ...к.э.н. Москва, 2004. – 229с.

5. Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика. Под ред. В.Н. Луканина и К.-Х. Ленца. М.: Логос, 2002. – 624с

6. Автомобильный транспорт Узбекистана 2004-2005. Синяя книга IRU. М.: IRU AIRCUZ, 2006. – 145с.

7. Алексиков С.В. и др. Оценка влияния дорожных условий на среднюю скорость транспортного потока // Вестник Волгоградского Государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. №15 (34). 2009. С. 78-81

8. Аннакулова Г.К., Радкевич М.В. Устройство для выработки электрического тока. Патент РУз № FAP 00896.

9. Антоновский М.Я., Семенов С.М.. Математические методы экологического прогнозирования. М.: Знание, 1978. – 65с.

10. Базаров Б.И. Научные основы энерго-экологической эффективности использования альтернативных моторных

топлив. Дисс. д.т.н. – Ташкент: ТАДИ. 2006. – 303с.

11. Базаров Б.И. Экологическая безопасность автотранспортных средств. Ташкент: ТАДИ. 2005. – 105с

12. Батурин В.К. Моделирование техногенного воздействия автомобильных дорог на экосистемы придорожной полосы. Дисс....к.т.н. Воронеж: 2002. – 150с.

13. Бердин В.Х. и др. Парниковые газы — глобальный экологический ресурс. Справочное пособие. Москва: WWF, 2004. – 137с.

14. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 720с.

15. Быстров А.С., Варанкин В.В., Виленский М.А. и др. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. Москва: Экономика, 2000. – 96с.

16. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: Учебник для вузов. М.: Транспорт. 1990. – 304с.

17. Васнев С.А. Статистика: Учебное пособие. Москва: МГУП, 2001. - 170 с.

18. Вершков Л.В.и др. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. Москва: Экономика, 1999. – 42с.

19. Вольвач В.М., Батракова А.Г. Влияние геометрических параметров автомобильных дорог на загрязнение атмосферного воздуха // Вестник ХНАДУ. № 43. 2008. С. 33-36

20. Выборочные наблюдения // Joomla! Электронный журнал. URL: <http://ekonomstat.ru/otvety-po-kursu-statistika/145-vyborochnye-nablyudeniya-principy-vyborochnogo-nablyudeniya.html>

21. Галушко Т.И., Батракова А.Г. Повышение экологи-

ческой безопасности на этапе проектирования автомобильных дорог // Вестник ХНАДУ. № 52. 2011. С. 132-137

22. Гатзофлиас Димитрис, Коуридис Харитон и др. COP-ERT 4. Компьютерная программа для расчета выбросов, создаваемых дорожным транспортом Руководство пользователя (версия 9.0). European Environment Agency: Emissia, 2012. – 73с.

23. ГЕО-4. Глобальная экологическая перспектива. Окружающая среда для развития. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде Найроби, 2007. – 572с.

24. Гетманов В.В. Методика оценки затрат на формирование энергетической безопасности ТЭК // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Современные проблемы экономики, управления и юриспруденции» [Электронный ресурс] / МГТУ.– электрон. текст дан.(4,9 Мб) –Мурманск: МГТУ, 2006. – 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). С. 498-500

25. Гиршович В.Е., Донченко В.В. и др. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ дорожно-строительными машинами в атмосферный воздух. М.: ОАО «НИИАТ», 2006. – 16с.

26. Глобальный регистр GE.07-20356 (R) 120207-130207. Предложение по разработке глобальных технических правил, касающихся официального утверждения процедуры сертификации двигателей большой мощности на предмет эмиссии выхлопных газов. Женева, 2007. – 24с.

27. Говоров В.В. Оптимизация эксплуатационных показателей при ремонте и содержании автомобильных дорог : Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. Воронеж, 2005. – 179 с.

28. Говорущенко Н.Я. Вопросы теории эксплуатации автомобилей на дорогах с различной степенью ровности покрытий. 1964. – 34с.

29. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. Введение в моделирование эколого-экономических систем - Ростов-на-Дону: Изд-во

Ростовского ун-та, 1990. - 112 с.

30. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. М.: «Издательство Машиностроение - 1», 2004. - 397с.

31. Доклад о мировом развитии 2010. Развитие и изменение климата. Обзор: Новый климат для развития. Вашингтон: Всемирный банк, 2010. – 58с.

32. Доклад о развитии человека 2007/2008. Борьба с изменением климата: человеческая солидарность в разделенном мире/ Пер. с англ. М.: Изд-во «Весь Мир», 2007. – 400с.

33. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Высшая школа, 1985. – 415с.

34. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 296 с.

35. Дулепов В.И., Лескова О.А., Майоров И.С. Системная экология. Владивосток: ВГУЭС, 2004. - 252 с.

36. Есеркепова И. Б. Методика расчета выбросов парниковых газов. Алматы: НИИ экологии и климата, 2009. – 63с.

37. Жданов А.Д. Математическое и информационное обеспечение систем экологического мониторинга на транспорте. Дисс.... к.т.н. Москва, 2006. – 145с.

38. Жданов В.Л. Метод оценки техногенной опасности транспортных потоков на улично-дорожной сети города. Автореферат дис. ... к.т.н. Москва, 2008. – 23с.

39. Железников М.А. Ремонт асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ // Автомобильные мосты и дороги 5 – 2004. М.: ФГУП Информационный центр по автомобильным дорогам, 2004. – 54с.

40. Зайцева Ю.В. Эконометрическая модель спроса населения на электроэнергию, учитывающая зависимость цено-

вой эластичности спроса от среднедушевого дохода // Анализ, моделирование и прогнозирование экономических процессов: материалы III Международной научно-практической Интернет-конференции, 15 декабря 2011 г. – 15 февраля 2012 г. / под ред. Л.Ю. Богачковой, В.В. Давниса; Волгоград. гос. ун-т, Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж : Изд-во ЦНТИ, 2011.

41. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Знание, 1979. – 435с.

42. ИКН 14-10. Инструкция по оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования. Ташкент: ГАК Узавтойул, 2010. – 52с.

43. Иногамов Ф. Механизм Чистого Развития ради устойчивого будущего // Экологический вестник. №10, 2007. - С.6-12

44. Комов Ю.К., Красиков О.А., Медведева Т.В. Нормы ровности дорожных покрытий.

45. Красиков О.А. Обоснование стратегии ремонта жестких дорожных одежд. Дисс... д.т.н. Алматы. 1999. – 597с.

46. Кутенев В.Ф. и др. Методика технико-экономической и экономической оценки эффективности мероприятий по снижению вредных выбросов от транспорта// Журнал Автомобильных Инженеров, 2008. № 5 (52). С. 34-38.

47. Кутенев В.Ф., Козлов А.В., Теренченко А.С. Сопоставительный анализ отечественной и европейской методик оценки ущерба от загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом// Журнал Автомобильных Инженеров (Эл. ресурс). URL: <http://www.aae-press.ru/j0058/art013.htm> (Дата обращения 12.03.2011)

48. Луканин В.Н., Корчагин В.А., Горшков Ю.В. Эффективность мероприятий по уменьшению вредного воздействия автомобиля на окружающую среду. М.: МАДИ, 1985. – 102с.

49. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. М.: Высшая школа. 2001. – 273с.

50. Медведева О.Е. Современные методы стоимостной оценки вреда окружающей среде (экологического ущерба)

// Доклад на Совещании Росприроднадзора РФ «Проблемы и практика расчета ущерба окружающей среде при обнаружении нарушений природоохранного законодательства», Москва: 2007. – 12с.

51. Меркушкин А.С. Введение в проблему управления климатическими рисками в Узбекистане // Экологический вестник. №9 (138). 2012. – С. 17-19.

52. Методика исчисления размера вреда окружающей среде (атмосферный воздух). Томск: Управление ООС Администрации Томской области, 2002. – 16с.

53. Методика определения выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям. Санкт Петербург: НИИ Атмосфера, 2005. – 48с.

54. Методическое пособие по выполнению сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспорта города (региона) и их применению при нормировании выбросов. Санкт-Петербург: НПК «Атмосфера», 2000. – 38с.

55. Миршахужаев С. и др. Определение топливной экономичности экспериментального автобуса LP 613 СП «СамАвто» на базе шасси «ТАТА»// Сборник материалов республиканской научно-практической конференции «Проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса Узбекистана». Ташкент: ТАДИ. 2008г. - С.103-105

56. Мониторинг и оценка состояния окружающей природной среды. Доклад о состоянии окружающей природной среды и использовании природных ресурсов в Республике Узбекистан за 2007-2009 годы/ Под ред. Умарова Н.М. Ташкент: Госкомприроды, 2010. – 104с.

57. МШН 14-2005. Инструкция по оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования. Ташкент: ГАК Узавтойул, 2005. – 26с.

58. Нестерович Н.В., Богданович С.В. Система управле-

ния содержанием покрытий в республике Беларусь // Автомобильные дороги и мосты. № 2(2). 2008. С 67-72.

59. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 176 с.

60. Обзоры результативности экологической деятельности. Узбекистан. Второй обзор. Нью-Йорк и Женева: ООН, 2010. – 277с

61. Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф. Экологический мониторинг. Учебное пособие. СПб: Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2002. – 80 с.

62. Пашкова А.Ю. Оценка ущерба от загрязнения окружающей среды в системе экологически безопасного развития экономики России. Автореферат дисс. ... к.э.н. Ростов-на-Дону, 2008. – 26с.

63. Петросян Л.А., Захаров В.В. Введение в математическую экологию. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1986. – 224с.

64. Положение о порядке применения компенсационных выплат за загрязнение окружающей природной среды и размещение отходов на территории Республики Узбекистан. Ташкент: Адолат, 2003. – 42с

65. Правила установления экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды // Казахстанская правда. №141. 2006.

66. Пузиков А.В. Методика определения интенсивности движения по результатам краткосрочных наблюдений. Дисс... ..к.т.н. Волгоград, 2006. - 142с.

67. Радкевич М.В. Инвентаризация и мониторинг выбросов системы «дорога-автомобиль» в условиях Узбекистана // Оценивание и мониторинг функционирования технических систем: коллективная научная монография; [под ред. Я.А. Полонского]. Новосибирск: Изд. Сибирская ассоциация консультантов, 2012. – С. 99-120.

68. Радкевич М.В. Мониторинг парниковых газов системы «дорога-автомобиль» // Вестник ТАДИ. №1-2. 2012. С.136-142

69. РДМУ 109-77 Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов.

70. Ремонт и содержание автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника. Под ред. Васильева А.П. М.: Транспорт. 1989. – 287с.

71. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. Том 2. Энергетика. Женева: IPCC, 2006. – 230с.

72. Рузский А.В., Донченко В.В. и др. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух. М.: ОАО «НИИАТ», 2006. – 64 с.

73. Рутенбург М. С., Павлова А. К., Романов М. Б. Метод определения интенсивности движения транспортных средств по выборочному учету// Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов. Минск: Наука и техника, 1971. С. 246 - 252.

74. Сааренкетто Тимо. Методы мониторинга состояния дорог с низкой интенсивностью движения. Резюме проекта Kolarctic/ Перевод на русский язык НП «Зеленая Волна». Архангельск: ООО АвтоДорожный Консалтинг, 2006. – 35с.

75. Садыков И.С. Прогнозирование и управление транспортно-эксплуатационными качествами автомобильных дорог. Учебник для вузов. Ташкент: Адолат, 2004. – 238с.

76. Сидикназаров К.М., Усманов М.М. Анализ технического состояния автодороги коридора Ташкент-Астана-Курган-Казань-Москва // Сборник материалов научно-практической конференции «Проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса Узбекистана». I часть. Ташкент: ТАДИ, 2008. – С. 180-182.

77. Системные исследования. Ежегодник 1970. М.: Наука,

1970. – 302с.

78. Системный подход и моделирование в экологии (Эл. ресурс) URL: <http://ecology-portal.ru/publ> Дата публикации. 29-03-2009

79. Справочник машиностроителя. В 6-и томах. Том 1. Под ред. Ачеркана Н.С. М.: Машгиз, 1961. – 592с.

80. Столяров К. А., Столярова Н. О., Лихошерст Р. В. Оценка уровня выбросов транспортных средств при различных схемах организации зимнего содержания дорог // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту №2, 2009. С. 86-90.

81. Стороженко М.С. Некоторые аспекты повышения безопасности движения на автомобильных дорогах // Вестник харьковского автодорожного университета. Выпуск 47. 2009 год. С. 81-85

82. Строганов В.И., Жданов А.Д. Построение систем экологического мониторинга на транспорте // Труды всероссийской конференции «Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах». Воронеж, 2005. – С. 159-161.

83. ТКП 17.08-03-2006. Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах. Минск. 2009. – 36с.

84. Трофименко Ю.В. Теория экологических характеристик автомобильных энергоустановок. Дисс...д.т.н. М.: МАДИ, 1996. – 221с.

85. Трофименко Ю.В., Лобиков А.В. Биологические методы снижения автотранспортного загрязнения природной полосы. М.: Инфрмавтодор, 2001. – 86с.

86. Федорова Ю.В. Разработка методов комплексной оценки состояния окружающей среды придорожной полосы в процессе зимнего содержания. Дисс....к.т.н. Воронеж, 1999. – 223с

87. Храмцов В.П., Ястремский Ю.Н. Способ защиты

мегаполиса. Патент RU 2171704 С2

88. Худсон Д. Статистика для физиков. Лекции по теории вероятностей и элементарной статистике. М.: Мир, 1970. – 296с.

89. Чванов В.В., Стрижевский Д.А. Обоснование требований к ровности дорожных покрытий с учетом обеспечения безопасности движения // «Дороги и мосты». – Сборник статей / ФГУП «РОСДОРНИИ». – М.: 2010, вып. № 27/2. – С. 171 – 185.

90. Шмуйлович А.В., Архипова В.Ф., Голумидова А.В. Экономическая оценка износа автотранспортных средств, вызванного дорожными условиями // Электронный журнал Владимирского государственного университета (<http://journal.vlsu.ru/index.php?id=128>) № 18. 2007 (часть 2).

91. Щербакова Р.П. Технологические карты на дорожно-строительные работы. ОМСК: ОРГТРАНССТРОЙ, 1974. – 43с.

92. Экологический мониторинг и надзор, чрезвычайные ситуации экологического характера. (Электронный ресурс) Сайт Центр экологических инвестиций URL: <http://kik.ee/ru/zhivaya-priroda/ekologicheskii-monitoring-i-nadzor-chrezvychaynye-situacii-ekologicheskogo-haraktera>. Дата обращения: 13.01.2013

93. Экологический мониторинг. ОАО «Лукойл». (Электронный ресурс) URL: [http://www.lukoil.ru/static\\_6\\_5id\\_2135\\_.html](http://www.lukoil.ru/static_6_5id_2135_.html). Дата обращения: 13.01.2013.

94. Эколога-экономическая оценка мероприятий по совершенствованию улично-дорожной сети крупного города / Б.П. Елькин, Т.В. Германова, С.Ф. Ваганов [и др.] // Современные методы строительства автомобильных дорог и обеспечение безопасности движения: сб. докл. Междунар. науч.-практ. Интернет-конференции. - Белгород : Изд-во БГТУ, 2007. - С. 100-104.

95. Antonini M. R., Baratono P. et al. Environmental monitoring of transport infrastructure programs. An Italian experience: the National Operative Program (PON) “Reti e mobilità”// EWGT2012 – Compendium of Papers. Paris, 2012.

96. Biber, Eric. The Problem of Environmental Monitoring , 83

U. Colorado law review. 1 (2011), Available at: <http://scholarship.law.berkeley.edu/facpubs/1606>.

97. Bickel, Peter and Friedrich, Rainer Externalities of Energy. Methodology 2005 Update. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2005, 287pp.

98. Chan Tat Y., Padmanabhan V. and Seetharaman P.B.. An Econometric Model of Location and Pricing in the Gasoline Market // Journal of marketing research, Vol. XLIV (November 2007), 622–635 экономика

99. Development and Climate Change -World Development Report 2010. Overview: The new climate for development. Washington: World Bank, 2010. – 58p.

100. Environmental impact of transport: Climate change. Ministry of Transport of New Zealand. Available at: <http://www.transport.govt.nz/ourwork/TMIF/Pages/EI001.aspx> (8.01.2013)

101. External Costs. Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport. Brussels, European Commission, 2003, 28pp.

102. Farnetani G., Canova M. Piano energetico-ambientale per la provincia di Grosseto. Grosseto, 31 marzo 2009, 181p.

103. Fendick, Malcolm. Clean, Low Carbon Transport: The Government Perspective. Head of Transport Environment and Taxation Division. 2004. – 11p.

104. Golub A., Kolstad Ch. D. Using Economic Incentives to Control Pollution in Russia. Market Problems Institute, Russian Academy of Sciences and Environmental Studies Program, University of California No. 20 July 1995. – 40c.

105. Grandi navi in Laguna di Venezia. Problemi Ambientali e Sanitari, Impatto Ambientale, Inquinamento, collegati al Traffico Marittimo // Materiali d'Informazione Novembre 2012. Osservatorio delle Trasformazioni Territoriali e Sociali dell'Associazione Ambiente Venezia. Venezia, 2012. – 26p.

106. Hidayat, Hedi; Armijaya, Henry. Assessment on implementation of environmental capacity in Indonesia (case study in Band-

ung Indonesia). Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4, October, 2003. pp. 1345-1355

107. Hymans Saul H. Forecasting and Econometric Models. URL: <http://www.econlib.org/library/Enc/ForecastingandEconometric-Models.html/>. 16/03/12 прогнозирование и эконометрические модели

108. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Geneva: IPCC. 2007. - 245p.

109. Lilli Eleonora. Autostrade, il pedaggio potrebbe variare in base alle emissioni di CO<sub>2</sub>/km // Il Giornale “OmniAuto.it” di 24 agosto 2012 URL: <http://www.omniauto.it/magazine/attualita>

110. Lu Xi, Salovaara J., McElroy M.B. Implications of the Recent Reductions in Natural Gas Prices for Emissions of CO<sub>2</sub> from the US Power Sector <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es203750k> Publication Date (Web): February 9, 2012

111. Mazzei F. et al. Identificazione e caratterizzazione delle sorgenti di particolato atmosferica dell'aria portuale di Genova // PM 2012 – Quinto convegno Nazionale sul particolato atmosferico, pp. 61-62. [www.pm2012.it](http://www.pm2012.it)

112. Medoro, Manuela; Molino, Donato et al. Trasporto su strada di rifiuti: quali sono i livelli di CO<sub>2</sub>? // Ambiente & Sicurezza, 17 agosto 2010 N. 16, pp. 55-59

113. Monitoring of environmental impacts of roads. PIARC Technical Committee A.1 - Preserving the environment. 2012. 94p. Available at: <http://www.piarc.org/en/order-library/13993-en-Monitoring%20of%20environmental%20impacts%20of%20roads.htm>

114. Namieśnik J. Modern Trends in Monitoring and Analysis of Environmental Pollutants // Polish Journal of Environmental Studies Vol. 10, No. 3 (2001), p.127-140

115. Oliveira, L.C.C. de; Vieira M.A. et al.. Determination of Na, K, Mg and Ca in biodiesel by LS F AAS and HR-CS F AAS: studies that supported the proposal of the ABNT NBR 15556 norm. Journal of the Brazilian Chemical Society. vol.23 no.7 São Paulo July 2012. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532012000700026>

116. Peressotti A. Monitoraggio degli inquinanti atmosferici: esempi di applicazioni. Koprivnica, EUQUALEN, 2007 – 27p.

117. Piano di monitoraggio ambientale dell'area interessata dalle ricadute dell'impianto energonut S.P.A. sito in Pozzilli (IS), 2010, 54p.

118. Ponti M. Gli aspetti economico-finanziari della politica ambientale nei trasporti. Available at <http://siti.feem.it/gnee/terapap/ponti.pdf>

119. Prasad A., Tarboton D.G. et al. GRAIP 1.0 - Geomorphologic road analysis and inventory package. A Tool to Analyze the Environmental Impact of Roads on Forested Watersheds. Tutorial & Reference Manual. Utah State University, 2007, - 75p. Available at: <http://www.engineering.usu.edu/dtarb/graip/>

120. Radkevich M.V. A new method of inventorying greenhouse gas produced by the road-vehicle complex // Science and Education [Text]: materials of the international research and practice conference, Wiesbaden, June 27-28, 2012 / publishing office «Bildungszentrum Rodnik e. V.». – c. Wiesbaden, Germany, 2012. – p. 97-100.

121. Radkevich M. Definition of ecological-economical optimum of pavement evenness on the results of an inventory of greenhouse gas emissions by the road-vehicle complex in Uzbekistan // International Research Journal of Environment Sciences. Vol. 2(3), 46-50, March (2013)

122. Radkewitsch M.V. Quelle der Luftverschmutzung von Automobil- und Autobahnenkomplex während des Lebenszyklus der Autobahn // „European Applied Sciences: modern approaches in scientific research“. Papers of the 1st International Scientific Conference (Volume 1). December 17-19, 2012, Stuttgart, Germany. – p.464-467.

123. Ripke O. Zweischichtige offenporige Beläge. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Schriftenreihe der Arbeitsgruppe Asphaltstraßen, H. 34, 2000

124. Roads and the Environment. A Strategy for Sustainable De-

velopment, Use and Maintenance of Northern Territory Roads. Darwin, Northern Territory Government. 2004, 21p.

125. Rochas Marika. Analysis of mechanisms for CO<sub>2</sub> emission reduction in Latvian energy installations. Summary. Riga: Riga technical university, 2006. – 22s.

126. Ruta, Giovanni. 2010 Environment Strategy. Monitoring Environmental Sustainability. Trends, Challenges and the Way Forward. The World Bank Group. 2010. – 67p.

127. Saija, Salvatore; Contaldi, Mario et al. Le emissioni in atmosfera da trasporto stradale. I fattori di emissione medi per il parco circolante in Italia. Serie Stato dell'ambiente 12/2000. Roma, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 2000, 98p.

128. Schrader, Christopher. Klimawandel Untertan Erde.// Elektronischer Zeitschrift "Wissen". URL: <http://www.sueddeutsche.de/wissen/klimawandel-untertan-erde-1.412502>

129. Spellerberg, Ian F. The ecological effects of new roads: a literature review / Ian F. Spellerberg & Toni Morrison. Wellington, N.Z.: Dept. of Conservation, 1998, 55 p.

130. Srogi K. Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. Environmental Chemical Letters (2007) 5:169–195

131. Ulivieri V. Monitoraggio delle emissioni CO<sub>2</sub>, parte il progetto ICOS // Il Giornale elettronico "Eco dalle Città" URL: <http://www.ecodallecitta.it/index.php>

132. Umweltdaten des Industriekraftwerk Korbach 2010. (Elektronische Ressource). URL: [http://www.ihkw-korbach.de/layout/ik\\_korbach\\_umweltdaten\\_2010.pdf](http://www.ihkw-korbach.de/layout/ik_korbach_umweltdaten_2010.pdf)

133. Underhill, Jackie. Roads and wildlife: a study of the effects of roads on mammals in roadside habitats. A thesis submitted to the Faculty of Science of the University of Birmingham for the degree of Doctor of philosophy. School of Geography and Environmental Science. The University of Birmingham, 2002. - 276 p.

## ***ПРИЛОЖЕНИЯ***

**Приложение 1**  
**Табл. П.1.1**

Результаты измерений концентрации CO, мг/м<sup>3</sup>, на различных дорогах общего пользования

Ровность покрытия IRL, м/км	Интенсивность движения, тыс. авт./сут																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Дорога 4Р12 (Холжикент)																			
≤ 4			0,8 (30км)	1,0 (46км)	1,2 (42км)	1,5 (15км)				2,48 (7км)		3,0 (4км)								
5-5,5						1,544 (62км)		2,208 (90км)			2,923 (1,5км)									
6				1,02 (52км)			1,85 (12,5км)		2,49 (48км)	2,74 (53км)										
8			0,832 (52км)																	
10																				
13				1,145 (53км)																
	Дорога Р6 (Ташкент – Чирчик – Газалкент)																			
≤ 4											2 (42км)							3,8 (5км)		5,2 (1км)
5-5,5																			3,279 (30км)	
6					1,24 (50км)															



Концентрация CO, мг/м<sup>3</sup>, в различных точках улиц г. Ташкента

Ровность покрытия IRI, м/км		Интенсивность движения, тыс. авт./сут																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Улицы г. Ташкента																					
5-5,5					1,222 (т. 1)				2,436 (т.2)				3,622 (т.3)		4,275 (т. 4)				5,3 (т. 5)		6,01 (т.6)
6							2,15 (т. 7)					3,369 (т. 8)	3,729 (т.9)			4,682 (т. 10)			5,428 (т.11)		6,135 (т.12)
8												3,66 (т. 13)		4,379 (т. 14)		5,269 (т.15)		5,577 (т. 16)		6,49 (т.17)	6,635 (т.18)
10														4,417 (т. 21)		5,273 (т.27)			6,072 (т.23)		6,89 (т.24)
13												3,99 (т.27)				5,629 (т. 29)		5,902 (т. 29)			7,048 (т. 30)

Т. 1 – ул. Нукус (возле посольства РФ), Т.2 – ул. Афросиёб (между м. «Космонавты» и м. «Айбек»), Т.3. – Проспект Беруни (возле станции метро), Т.4 - ул. Шога Руставели (парк Бабур), Т. 5 – ул. Шахрисабз (возле м. Айбек), Т.6 – ул. Буюк Ипак Йули (возле ст. метро), Т.7 – ул. Навои (мост через Анхор), Т.8 – ул. Фурката (м. Бунёдкор), Т.9 – ул. А.Кадыри (мост через Анхор), Т. 10 – пр. Хабиба Абдуллаева (кладбище, диагностический центр), Т.11 – пересечение ул. Фаргона Йули и ул. Бону, Т.12 – ул. Халклар Дустлиги (Ипподром), Т.13 – ул. Мукими (мост через канал Бурджар), Т.14 – ул. Ак-Курган (стадион НБУ), Т.15 – ул. Усмана Насыра (мемориал), Т.16 – ул. Янги Сергели Йули (арык Шокир), Т.17 – ул. Чапан-Ата (перекресток с ул. Катартал), Т.18 – ул. Чаштепа (пересечение с кольцевой дорогой), Т.19 – ул. Шайхантаур (подъезд через канал, Лабзак), Т.20 – ул. Мирабад (хореографическое училище), Т.21 – ул. Шолохова (подъезд к Ахангаранскому шоссе, м-в Лисунова), Т.22 – ул. Джар-Курган (пересечение с ул. Ок-Дарья), Т.23 – ул. Азиза Кадырова (ж.-д. поликлиника), Т.24 – ул. Назарбек (перекресток с улицей Манана Уйгура), Т.25 – ул. Асака (выезд на МК), Т.26 – ул. Паркент (ответвление от ул. Пушкина), Т.27 – ул. Олтинкул (ЗАГС Мирабадского р-на), Т.28 – ул. Усманбека Алимбекова (поворот на кольцевую), Т.29 – ул. Эски Отчалар (полигон ГАИ), Т.30 – ул. Бошшамол (р-н СХИ)

Табл. П.1.3

Концентрации CO, мг/м<sup>3</sup>, для различной интенсивности движения при ровности IR1 4

IR1 м/км	Интенсивность движения, тыс. авт./сут																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Кольцевая (Р1)																			
≤4						1,5 (Ф)	1,7 (Ш)		2,3 (СА)	2,4 (Фар)	3		3,5 (Ч)	4	4,3 (У)					
	МК																			
≤4			0,8 (К)	1 (МР)	1,2 (Э)		1,8 (М)	2 (ФБ)		2,6 (Фаз)		3,3 (Г)	3,8 (С)	4,2 (АТ)				5 (ФД)		5 (Б)

Ф – ул. Фозил-тепа, Ш – ул. Шарафа, С.А. - ул. Сайфи Алимова, Фар. – ул. Фаргона Йули, П – ул. Паркент, АД – ул. Ахмад Дониш, У – ул. М. Улугбек, Б – ул. Бабура, Э – ул. Элбек, К – ул. Кушбеги, Г – ул. Г.Гуляма, С – ул. Сагбан, АТ – ул. А. Темура, М – ул. Маннон, МР – ул. Мирон, Фаз – ул. Фазылбек, ФБ – ул. Фароби, ФД – ул. Фархад, Ч – ул. Чимкент

## Приложение 2

## Поправочный коэффициент состава потока К

Состав потока		Значение К для различных компонентов выбросов							
Л, %	Г, %	CO <sub>2</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	Тв. част.
100	0	0,381	0,366	0,369	0,330	0,366	1,097	0,161	0,105
95	5	0,443	0,429	0,432	0,397	0,429	1,088	0,245	0,195
90	10	0,505	0,493	0,495	0,464	0,493	1,078	0,328	0,284
85	15	0,567	0,556	0,558	0,531	0,556	1,068	0,412	0,373
80	20	0,629	0,620	0,621	0,598	0,619	1,058	0,496	0,463
75	25	0,691	0,683	0,684	0,665	0,683	1,049	0,580	0,552
70	30	0,753	0,746	0,747	0,732	0,746	1,039	0,664	0,642
65	35	0,814	0,810	0,811	0,799	0,810	1,029	0,748	0,731
60	40	0,876	0,873	0,874	0,866	0,873	1,019	0,832	0,821
55	45	0,938	0,934	0,937	0,933	0,937	1,010	0,916	0,910
50	50	1	1	1	1	1	1	1	1
45	55	1,062	1,063	1,063	1,067	1,063	0,99	1,084	1,090
40	60	1,124	1,127	1,126	1,134	1,127	0,981	1,168	1,179
35	65	1,186	1,190	1,189	1,201	1,190	0,971	1,252	1,269
30	70	1,247	1,254	1,253	1,268	1,254	0,961	1,336	1,358
25	75	1,309	1,317	1,316	1,335	1,317	0,951	1,420	1,448
20	80	1,371	1,380	1,379	1,402	1,381	0,942	1,504	1,537
15	85	1,433	1,444	1,442	1,469	1,444	0,932	1,588	1,627
10	90	1,495	1,507	1,505	1,536	1,507	0,922	1,672	1,716
5	95	1,557	1,571	1,568	1,603	1,571	0,913	1,755	1,806
0	100	1,619	1,634	1,631	1,670	1,634	0,903	1,839	1,895

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
----------------	---

<b>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ АВТОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА.....</b>	<b>8</b>
--	----------

1.1. Анализ существующих методов мониторинга и инвентаризации выбросов автодорожного комплекса.....	8
---	---

1.1.1. Мониторинг.....	8
------------------------	---

1.1.2. Инвентаризация.....	11
----------------------------	----

1.1.3. Анализ методов инвентаризации выбросов автомобильно-дорожного комплекса по результатам мониторинга .....	14
---	----

1.2. Анализ состояния автомобильных дорог РУз .....	15
---	----

1.2.1. Общие сведения.....	15
----------------------------	----

1.2.2. Классификация работ по ремонту автомобильных дорог общего пользования.....	17
---	----

1.2.3. Способы выполнения текущего ремонта (согласно МШН 24-2005) .....	18
---	----

1.2.4. Оценка транспортно – эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования .....	19
--	----

1.3. Характеристики транспортного потока по данным УзАвтойул .....	21
--	----

1.3.1. Интенсивность движения и состав потока. ....	21
---	----

1.3.2. Виды используемого топлива.....	21
--	----

Выводы.....	21
-------------	----

<b>ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДА ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ АВТОДОРОЖНЫМ КОМПЛЕКСОМ ПО ПАРАМЕТРАМ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ.....</b>	<b>22</b>
---	-----------

2.1. Выбор критерия для инвентаризации выбросов АДК.....	22
--	----

2.2. Анализ взаимосвязи «ровность дорожного покрытия – движение автотранспортного потока – выбросы в ОС».....	23
---	----

2.3. Установление взаимосвязи между ровностью покрытия и скоростью автомобиля .....	26
---	----

2.4. Предпосылки для создания нормативной базы инвентаризации и мониторинга выбросов системы «дорога-автомобиль».....	28
Выводы.....	33

**ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБРОСОВ СИСТЕМЫ «ДОРОГА-АВТОМОБИЛЬ» МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ..... 34**

3.1. Исходные данные для численного эксперимента .....	34
3.2. Выбор базовых моделей и условий для проведения численного эксперимента по исследованию параметров дорог. ....	36
3.3. Выбор базовых моделей и условий для проведения численного эксперимента по исследованию выбросов от АТС .....	39
3.4. Порядок проведения численного эксперимента .....	42
3.5. Результаты численного эксперимента.....	45
3.6. Обработка результатов численного эксперимента.....	48
3.6.1. Статистическая обработка результатов эксперимента .....	48
3.6.2. Построение графиков и подбор уравнений «выбросы – интенсивность движения» при различной ровности .....	48
3.7. Обобщение уравнений «удельный выброс CO <sub>2</sub> – интенсивность движения» .....	51
Выводы.....	55

**ГЛАВА 4. ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА И ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА ПО КРИТЕРИЮ «РОВНОСТЬ ПОКРЫТИЯ» ..... 56**

4.1. Задачи мониторинга выбросов автомобильно-дорожного комплекса.....	56
4.2. Выбор метода организации мониторинга.....	57
4.3. Обоснование необходимого объема выборки .....	57
4.4. Методика проведения мониторинга и инвентаризация выбросов по результатам мониторинга .....	62
4.5. Приближенный учет CO <sub>2</sub> .....	68
4.6. Сопоставление разработанной методики с методикой	

МГЭИК .....	70
Выводы.....	73
<b>ГЛАВА 5. СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА И НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА..... 74</b>	
5.1. Задачи натурального эксперимента .....	74
5.2. Методика и технические средства проведения эксперимента .....	74
5.3. Обработка экспериментальных данных.....	77
5.4. Статистическая обработка результатов.....	80
Выводы.....	81
<b>ГЛАВА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЩЕРБА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 82</b>	
6.1. Определение ущерба от выбросов парниковых газов. ....	82
6.2. Определение ущерба от загрязнения атмосферного воздуха в придорожной зоне. ....	83
6.3. Определение ущерба от локальных загрязнений.....	86
6.4. Зависимость шумового загрязнения придорожной зоны и показатели риска ДТП от ровности покрытия .....	88
6.5. Эколого-экономическое заключение .....	94
6.6. Некоторые пути снижения вредного воздействия АДК на ОС .....	99
Выводы.....	100
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>101</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>103</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>117</b>

