

В.Н.Луканин Ю.В.Трофименко

ПРОМЫШЛЕННО/ ТРАНСПОРТНАЯ ЭКОЛОГИЯ



ВЫСШАЯ ШКОЛА

ЛУКАНИН Валентин Николаевич – член- корреспондент Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного автомобильно - дорожного института (технического университета) (МАДИ-ТУ), лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники.

ТРОФИМЕНКО Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленно-транспортной экологии МАДИ-ТУ, начальник Управления методологии охраны окружающей среды Российского дорожного агентства.



0000517

В.Н.Луканин Ю.В.Трофименко

ПРОМЫШЛЕННО/ ТРАНСПОРТНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Допущено Министерством образования
Российской Федерации
в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям
«Наземные транспортные системы»,
«Эксплуатация транспортных средств»,
«Технологические машины и оборудование»
и специальностям «Автомобильные дороги и аэродромы»,
«Двигатели внутреннего сгорания»,
«Организация дорожного движения»,
«Электрооборудование автомобилей и тракторов»,
«Стандартизация и сертификация»



Москва
«Высшая школа»
2003

УДК 656.13:502.5

ББК 39.3:20.1

Л 84

Рецензенты:

кафедра инженерной экологии Московского технического университета — МАМИ (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. *Б. Н. Нюнин*); д-р техн. наук, проф. *В. Т. Медведев* (Московский государственный энергетический институт — технический университет).

Луканин, В. Н.

Л84 Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов
В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко; Под ред. В. Н. Луканина. —
М.: Высш. шк., 2003. — 273 с.: ил.

ISBN 5-06-003957-9

В учебнике изложены теоретические основы физико-химических процессов, происходящих при воздействии объектов транспорта и промышленности на окружающую среду, механизмы воздействия на окружающую среду отдельных объектов транспорта (на разных стадиях их жизненных циклов), а также дорожной сети и парков машин на локальных территориях, распространения и трансформации промышленно-транспортных загрязнений в окружающей среде и влияние их на компоненты биоты. Рассмотрены методы и результаты оценки промышленно-транспортных загрязнений.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям «Наземные транспортные системы», «Эксплуатация транспортных средств», «Технологические машины и оборудование» и специальностям «Автомобильные дороги и аэродромы», «Двигатели внутреннего сгорания», «Организация дорожного движения», «Электрооборудование».

УДК 656.13:502.5

ББК 39.3:20.1

ISBN 5-06-003957-9

©ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2003

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Опыт преподавания специальных инженерных дисциплин экологического плана возникал в недрах других дисциплин, куда они были вкраплены в виде небольших разделов. Так, в курсах по теории рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания (ДВС), начиная с 70-х годов, читались разделы, посвященные экологическим показателям двигателей. Примерно в это же время начали звучать термины «экология», «экологические проблемы» в курсах технической эксплуатации, ремонта автомобилей, автомобильных перевозок, проектирования, строительства и содержания дорог.

В последние годы промышленно-транспортная экология оформилась в блок дисциплин учебного плана подготовки специалистов по направлениям: наземные транспортные системы, эксплуатация автомобильного транспорта, сервис, автомобильные дороги, мосты и пр. Основой научного знания этой новой области инженерной экологии стали результаты исследований последних лет, посвященные изучению процессов воздействия технических объектов (автомобиля, дороги) на окружающую среду. Здесь плодотворными оказались идеи, связанные с понятием «жизненный цикл автомобиля, дороги». Это понятие позволило ввести некие меры — энергетические затраты, объемы выбросов вредных веществ, потребления природных ресурсов, связанные с добычей сырья, производством конструкционных, эксплуатационных, строительных материалов, изготовлением машин, эксплуатацией, ремонтом, обслуживанием объекта транспорта, воздействующие на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

Естественно, из стремления понять степень воздействия автомобиля на окружающую среду возникло второе, очень важное понятие «множество машин». Действительно, какое число автомобилей может вынести наша земля-матушка, или какова допустимая концентрация машин на единицу площади территории земли, чтобы не вызвать локальной экологической катастрофы. Это новые задачи в науке об автомобиле. Естественно здесь использовать весь накопленный арсенал экспериментальных сведений о свойствах автомобиля и об упорядоченных множествах автомобилей — автотранспортных потоках, так как именно в качестве автотранспортных потоков

мы встречаемся с автомобилем на улицах (дорогах), когда имеет место максимальное воздействие на окружающую среду со стороны множества машин.

Следующий аспект — наличие физико-химических процессов при воздействии промышленности и транспорта на окружающую среду. Их изучение необходимо для понимания механизмов негативного воздействия транспортных объектов на среду и принятие инженерных решений по защите окружающей среды от разных видов этого воздействия.

Во всех случаях изучения принципов работы и оценки эффективности технологических процессов, машин, сооружений в качестве основных характеристик использовались величины выбросов, затрат материалов, энергии. Такой подход дает возможность осуществлять оценки экологических последствий решений, принимаемых при формировании автомобильного парка, строительстве дороги. Оценки возможны сравнительные на основе суждений меньше-больше, лучше-хуже.

Авторы сочли возможным изложить некоторые сведения из термодинамики и теории двигателей внутреннего сгорания, например, разделы о втором начале термодинамики и термохимические основы реакции сгорания в ДВС. Это сделано потому, что именно второе начало термодинамики предопределяет необходимость отдачи в окружающую среду части теплоты и тем самым сама природа тепловой машины делает неизбежным ее взаимодействие с окружающей средой, а условием осуществления ее работы служит материальный баланс ДВС. Константы материального взаимодействия ДВС с окружающей средой становятся численно определенными: расход воздуха (кислорода), выбросы отработавших газов количественно следуют из термохимических реакций ДВС. Это касается единичной машины. Однако взаимодействие приобретает качественно новые черты, когда эти процессы распространяются на множество машин, т. е. размеры этих воздействий могут приводить к устойчивым отклонениям от нормы параметров состояния окружающей среды; это позволяет говорить о предпосылках возникновения локальной экологической катастрофы техногенного характера.

Даны определения основных процессов, которые сопутствуют работе автомобиля, а также имеют место при изготовлении, техническом обслуживании и ремонте, показаны воздействия этих процессов на окружающую среду. Во всех случаях затраты энергии рассматриваются как важнейшая экологическая характеристика процесса.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Человечество как биологический вид и социальная общность неразрывно связано с процессами, происходящими в окружающей среде, и во все возрастающих масштабах черпает из нее ресурсы, загрязняет отходами, продуктами жизнедеятельности. Все происходит в тончайшем слое «жизненного пространства» — биосфере. Эта «оболочка жизни» находится в постоянном движении веществ, совершающих круговорот органических веществ в цепочке: почва — растения — животные — человек — почва (сток), а также неорганических веществ в рамках других цепочек естественного круговорота, ибо природа создала механизмы постоянного круговорота основных химических элементов между неживыми и живыми компонентами окружающей среды в биосфере.

В соответствии с законом сохранения массы (вещества) при любом физическом или химическом изменении вещество не возникает и не исчезает, но лишь изменяет свое физическое или химическое состояние. За длительное время установились, причем в очень узких диапазонах, значения параметров окружающей среды, при которых существует жизнь. Мы привыкли говорить о потреблении или расходовании ресурсов. Но мы не потребляем вещество, а только временно пользуемся какими-то видами ресурсов Земли, перемещая их, превращая в продукты или полезные товары. Все, что выброшено, остается с нами.

В настоящее время (2000) население Земли достигло шестимиллиардной величины. Вторая после Китая страна в мире — Индия — стала иметь миллиард жителей. Человеческая деятельность (строительство жилья, дорог, земледелие, добыча природных минеральных ресурсов, промышленное производство), имеющая целью достижение определенного благосостояния (комфорта), изменяет природные ландшафты, создает новую искусственную среду обитания человека, чуждую ему как биологическому существу. Несколько поколений, многие сотни миллионов людей живут в трансформированной природной среде (в мегаполисах, городских агломерациях, на освоенных территориях), пытаясь приспособиться, адаптироваться к ней. Однако сформированный в процессе эволюции человеческий организм весьма чувствителен к изменению параметров ок-

ружающей среды, многие механизмы влияния которых на живые организмы остаются непознанными. Раньше, когда численность населения на планете была небольшой и уровень антропогенной нагрузки незначителен, это влияние компенсировалось адаптационными способностями живых организмов.

На рубеже XXI в. ситуация изменилась. Экспериментально подтверждены необратимые изменения значений параметров окружающей среды от ранее существовавших, что все чаще приводит к экологическим кризисам и катастрофам на локальном уровне (фотохимический смог, кислотные осадки, загрязнение водоемов биогенами) и в глобальном масштабе (образование парникового эффекта, разрушение озонового слоя в стратосфере). Это, а также накопление данных, подтверждающих проявление распада генетических программ человека, другие проявления экологического кризиса, привело к тому, что в большинстве стран мира вопросы обеспечения экологического благополучия выходят за рамки принятия конкретных инженерно-технических программ и решений и все более приобретают социально-экономическое звучание, формируют новые стереотипы поведения, нормы морали.

Наблюдается эволюция экологического мировоззрения — от *антропоцентризма* (человек — центр Вселенной и конечная цель мироздания, т. е. «царь природы») к *теории естественной биотической регуляции* окружающей среды (человек занимает определенную экологическую нишу и его деятельность не должна приводить к нарушению устойчивости биоты) и *обществу устойчивого развития*, когда воздействие на окружающую среду остается в пределах хозяйственной емкости биосферы и не разрушается природная основа для воспроизводства жизни человека.

Подробное рассмотрение социально-экономических аспектов формирования общества устойчивого развития выходит за рамки данной дисциплины. Нам важно понять, каким требованиям должна отвечать транспортная система в таком обществе, а также круг возникающих проблем и пути их решения.

Они лежат в области рационального расходования природных ресурсов, защиты атмосферы, водоемов и водотоков, почвы, природных экосистем от негативного воздействия транспортного комплекса, создания замкнутых промышленно-утилизационных технологий транспортной деятельности, включенных в растительно-энергетические природные циклы (энерго- и ресурсосберегающие, безотходные технологии, водородная, биотопливная транспортная энергетика и др.).

Активно формируется методология, аксиоматика, круг решаемых задач, математический аппарат, практические приложения новой научной дисциплины — промышленно-транспортной экологии, изучающей различные аспекты воздействия промышленности и

транспорта на окружающую среду. При этом речь идет об изучении экологически значимых параметров, характеристик экологической безопасности транспортного объекта, сооружения, совокупности машин на дорожной сети, но не об «экологии» двигателя, автомобиля, судна, локомотива, дороги, моста, автомобильного парка или дорожной сети, ибо у этих шедевров человеческого разума нет своей экологической ниши в природе.

В последние годы классифицированы отдельные источники негативного воздействия транспортных объектов на окружающую среду, установлены причинно-следственные связи для управления уровнем экологической безопасности транспортного комплекса. Можно считать методически завершенным этап разработки расчетных методик оценки удельных (на единицу пробега — пробеговых) выбросов одиночных транспортных средств и погонных (на единицу длины пути в единицу времени) выбросов транспортных потоков на участках дорожной сети, загрязнения придорожной полосы токсичными веществами, формирования парка машин региона с использованием экологических критериев. Установлена мера экологической безопасности (чистоты) транспортных средств различного назначения и экологические требования к этим объектам, определены причинно-следственные связи влияния на этот показатель различных инженерно-технологических и организационных факторов. Установлены закономерности «экологического поведения» совокупности машин на улично-дорожной сети крупных городов, которые, с одной стороны, налагают ограничения на поведение одиночных автомобилей в транспортном потоке, алгоритмы управления движением, а с другой — не позволяют распространить принцип аддитивности при оценке выбросов вредных веществ транспортными потоками и парком, состоящим из конкретных марок автомобилей. Экологические оценки уже не ограничиваются расчетом валовых выбросов отдельных веществ, ставится задача определения и расчета концентраций примесей в атмосфере на значительной площади территории с учетом трансформации отдельных веществ, риска заболеваний людей.

На очереди решение проблем комплексной оценки воздействия различных по физико-химической природе процессов, используемых в промышленности и на транспорте, на биоту и реакции компонентов биоты на эти воздействия. Актуальными являются следующие вопросы:

1. Оценка влияния промышленности и транспортных коммуникаций на устойчивое социально-экономическое развитие регионов, обеспеченности транспорта топливно-энергетическими, минеральными и другими природными ресурсами.

2. Приборное обеспечение и осуществление производственного экологического контроля линейных транспортных сооружений с

учетом движения транспортных потоков, а также промышленных предприятий транспорта, транспортных средств, строительно-дорожной техники, материалов.

3. Создание средств и методов предотвращения загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов при реализации жизненных циклов объектов транспорта, инженерных сооружений с использованием малоотходных и ресурсосберегающих технологий, включая биотехнологии.

4. Оценка ресурсо- и средовоспроизводящей способности ландшафтов при воздействии промышленности и транспортных систем, конструирование искусственных экосистем на придорожных территориях.

5. Экологическое нормирование промышленно-транспортной нагрузки на экосистемы; формирование экологических требований к объектам транспортной техники, технологиям, материалам.

6. Разработка механизмов управления природоохранной деятельностью и рациональным использованием природных ресурсов в промышленности и на транспорте.

7. Прогнозирование чрезвычайных экологических ситуаций и локальных экологических катастроф, связанных с промышленно-транспортной деятельностью, и обоснование мер по их предотвращению.

Не все из указанных вопросов являются предметом подробного рассмотрения. Основное внимание уделено экологическим проблемам преимущественно мировоззренческого, естественнонаучного и инженерного плана (в части идентификации промышленно-транспортных источников воздействия на окружающую среду, оценки их интенсивности и разработки инженерных решений по снижению воздействия), что составляет основу знаний будущего инженера-механика (строителя) машиностроительного, транспортно-дорожного профиля по учебной дисциплине «Экология». Организационные, нормативно-правовые, экономические аспекты будущей профессиональной деятельности, в том числе связанные с охраной окружающей среды и здоровья человека, являются сутью других дисциплин и должны читаться студентам в других дисциплинах по программе подготовки соответствующих специалистов.

ПРЕДМЕТ ПРОМЫШЛЕННО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКОЛОГИИ

Промышленно-транспортная экология относится к числу интенсивно развивающихся областей прикладной (инженерной) экологии со своими понятиями, терминологией, аксиоматикой, методами исследования процессов взаимодействия промышленности и транспорта с окружающей средой.

1.1. Основные понятия, термины, определения

Экология — отрасль биологической науки о взаимодействии растительных и животных организмов между собой и с окружающей средой.

Промышленность и транспорт создают мощную техногенную нагрузку на окружающую среду. В ряде случаев живая и неживая природа испытывают на себе воздействие промышленных и транспортных объектов. Эти обстоятельства дают возможность говорить о возникновении новой научной ветви — промышленно-транспортной экологии, т. е. промышленно-транспортная экология изучает различные аспекты воздействия объектов промышленности и транспорта на окружающую среду.

Окружающая среда (ОС) — совокупность природных тел (атмосферы, гидросферы, литосферы, биосферы) и культурных (техногенных) объектов, предметов социальной и производственной деятельности человека.

Транспортный комплекс представляет собой технико-экономическую структуру, предназначенную для перевозки грузов и людей, и включает:

- систему проектирования, строительства, реконструкции, ремонта, содержания дорог, мостов, тоннелей и других сооружений;
- автомобильную, авиационную, судостроительную промышленность, строительного-дорожное и транспортное машиностроение;
- сферу эксплуатации и ремонта этих машин, поддержания работоспособности автомобильного транспорта, дорожного хозяйства, службы управления движением;
- промышленность строительных материалов, шин, топлив и масел, электротехнических устройств, запчастей, эксплуатационных жидкостей.

Объекты транспорта — автомобили, мотоциклы, самолеты, суда, локомотивы и другие транспортные средства, оснащенные энергоустановками и обеспечивающие выполнение транспортной работы, а также инженерные сооружения (дороги, мосты, путепроводы).

Жизненный цикл (ЖЦ) объекта транспорта (рис. 1.1) — хронологически выраженная последовательность этапов *создания* (добычи и переработки сырья, производства конструкционных, эксплуатационных, дорожно-строительных материалов, транспортировки, хранения) *производства* (изготовления объекта), *использования*, *восстановления работоспособности и утилизации* техники или сооружения.

Этап *создания* включает добычу и переработку сырья, производство конструкционных, строительных материалов, из которых состоит объект транспорта, расходуемых эксплуатационных материалов, необходимых для его функционирования.

Этап *производства* включает изготовление узлов, деталей, сборку объектов транспорта, строительство инженерных сооружений (участка дороги, моста, путепровода).

Этап *использования* (эксплуатации) включает выполнение транспортной работы в период нормативного срока службы транспортного средства или использование участка дороги, моста.

Этап *восстановления* работоспособности предусматривает проведение технического обслуживания (содержания) и ремонта объекта транспорта с восстановлением деталей, узлов, агрегатов, выработавших ресурс или замену их.

Этап *утилизации* объекта транспорта предусматривает разборку (ликвидацию), переработку непригодных к восстановлению деталей и узлов, повторное использование конструкционных, строительных и эксплуатационных материалов на предыдущих этапах жизненного цикла объектов транспорта или в других сферах деятельности, захоронение отходов.

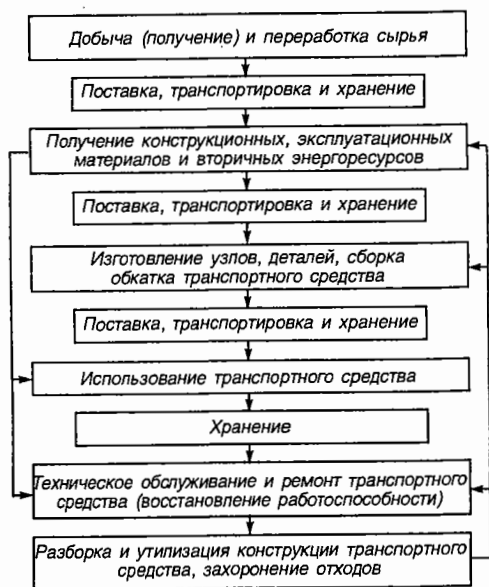


Рис. 1.1. Схема жизненного цикла объекта транспорта

Этапы поставки, транспортировки и хранения являются промежуточными и относятся как к материалам, так и объектам транспорта. Экологические проблемы, возникающие на этих этапах, менее значимы, чем на основных этапах жизненного цикла транспортного объекта, поэтому отдельно не рассматриваются.

На каждом из этапов ЖЦ происходит потребление энергоресурсов, конструкционных, дорожно-строительных и эксплуатационных материалов; технологические процессы сопровождаются выбросами вредных и токсических веществ. Они вносят свой вклад в загрязнение воздуха, воды или почвы, истощение природных ресурсов при реализации ЖЦ объекта, так как могут накапливаться в ландшафтах биосферы. Вред окружающей среде эти воздействия, возникающие на отдельных этапах жизненного цикла продукции, оказывают в случаях, когда:

- загрязняющие выбросы, сбросы превышают нормативы предельно допустимых концентраций веществ или шум, вибрация, остаточная теплота, электромагнитные и радиоактивные излучения превышают установленные уровни;

- потребление материалов и энергии превышает установленные нормативы;

- содержание экологически вредных веществ и компонентов в используемых материалах превышает предельно допустимое;

- обращение с отходами, возникающими в ЖЦ объектов транспорта, производится с нарушением установленных правил.

Возникающие же виброакустическое, электромагнитное, тепловое излучения являются факторами прямого действия и не могут накапливаться. Поэтому методологию жизненного цикла к этим видам воздействия применить нельзя.

Когда задают требования к назначению или характеристикам объектов транспорта, то эти требования по данным ВНИИ охраны природы могут отражать выбор, сделанный при проектировании и производстве новой или улучшенной техники (рис. 1.2) относительно экологических предпочтений в виде:

- потребных расходов материалов и энергии, учитываемых вместе с затратами на их добычу, подготовку (очистку) или промежуточные производственные процессы, так же, как последующие технологические процессы;

- типа и количества отходов, производимых на всех этапах жизненного цикла;

- входных и выходных потоков (материалов и энергии), связанных с упаковкой, транспортировкой, распределением и использованием;

- вариантов восстановления, включая возврат (восстановление) потерь энергии, повторное использование или рециклинг продукции, так же, как простоту разборки, восстановления или ремонта;

- вариантов утилизации продукции и связанных с ней отходов.



Рис. 1.2. Схема формирования экологических требований к промышленной продукции

Эффекты воздействия объектов транспорта на окружающую среду определяются величинами входных и выходных потоков на всех стадиях жизненного цикла, ибо используемые в процессе человеческой деятельности материалы и энергия не исчезают. Материалы идут в переработку, либо превращаются в отходы и загрязнения. Энергия рассеивается, превращаясь в теплоту, которую невозможно использовать вновь. Люди извлекают из Земли сырье и большинство видов энергии и возвращают ей отходы и теплоту, т. е. существует постоянный поток материалов и энергии от планетарных источников через экономическую подсистему к планетарным стокам, где накапливаются отходы и загрязнения (рис. 1.3) [1].

Входные потоки разделяются на:

1) материальные, связанные с добычей сырья, производством, транспортировкой, использованием, техническим обслуживанием, повторным использованием и утилизацией продукции, могут оказывать различное воздействие на среду (приводить к ускоренному истощению природных ресурсов, отчуждению территорий, снижению плодородия почв, воздействию опасных материалов на здоровье человека, выделению вредных выбросов);

2) потоки энергии, источниками которых являются жидкое топливо, ядерные и гидроэлектростанции, геотермальные источники, ветер, биомасса.

Выходные потоки формируются из продукции, твердых отходов и выбросов в воздух, воду, почву, энергетических выделений.



Рис. 1.3. Поток энергии и вещества в планетарной экосистеме

Для транспортных объектов входные и выходные потоки могут быть представлены в виде процессов обмена энергией и веществом между ними и окружающей средой при реализации их жизненных циклов и выражаться соответствующими показателями. Значения этих показателей в свою очередь зависят от значений измерителей групповых (эксплуатационных) свойств объектов транспортной техники. В их числе топливная экономичность, токсичность, материал- и энергоёмкость, моторесурс и др. [2].

Биосфера — качественно своеобразная планетарная оболочка, включающая не только организмы, но и среду их жизни, охваченную и преобразованную деятельностью этих организмов.

Биогеоценоз — совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных состояний и компонентов (атмосферы, горной породы, почвы и гидрологических условий, растительности, животного мира, микроорганизмов), имеющая специфику взаимодействия этих компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между компонентами и природными элементами.

Экосистема — совокупность различных видов растений (*продуцентов*), животных (*консументов*) и микроорганизмов (*редуцентов*), взаимодействующих друг с другом и с окружающей их средой таким образом, что вся эта совокупность может сохраняться неопределенно долгое время.

В каждой экосистеме существуют две группы основных компонент: организмы (*биота*) и факторы неживой природы (*абиотические*).

Экологическая чистота — способность транспортного объекта «вписываться» в растительно-энергетические природные циклы и мера воздействия его на окружающую среду (параметры состояния среды).

Экологическое воздействие — последствия любых (преднамеренных или случайных, постепенных или катастрофических) антропогенных изменений природных объектов и факторов, связанных с транспортной деятельностью.

Экологическая безопасность промышленности и транспорта — состояние защищенности окружающей природной среды от промышленно-транспортных воздействий. При этом обеспечивается функционирование природно-технических систем в пределах допустимого изменения параметров окружающей среды.

Параметры состояния окружающей среды — температура, давление, объем газов, жидкостей, концентрации веществ, напряженность электромагнитного поля, радиоактивность и др. Они должны находиться в строгих диапазонах для обеспечения устойчивости экосистем. Транспортная деятельность может приводить к изменению значений параметров состояния на локальных участках территории.

Локальная экологическая катастрофа — многократное превышение критических (предельно допустимых) уровней и нагрузок на локальные экосистемы по различным ингредиентам и видам воздействия, в результате которых нарушается их устойчивость.

Материальные и энергетические преобразования, происходящие в экосистемах, обеспечивают поддержание жизни на Земле и заключаются в следующем [3].

1. *Экосистемы существуют за счет не загрязняющей среду солнечной энергии, поступающей на поверхность планеты в избыточном для них количестве.*

2. *Получение ресурсов, избавление от отходов происходит без загрязнения среды в рамках круговорота веществ, прежде всего круговорота соединений углерода, азота, серы, фосфора.*

3. *Реализуется принцип экологической пирамиды: чем больше биомасса популяции, тем ниже должен быть занимаемый ею трофический уровень.*

Трофическая (пищевая) цепь — ряд организмов, каждое предыдущее звено которого служит пищей следующему и одновременно является цепью передачи энергии. На первом (нижнем) трофическом уровне расположены продуценты (растения, аккумулирующие солнечную энергию) и редуценты (микроорганизмы, разлагающие органическое вещество). На следующем уровне — консументы (насекомые, растительноядные животные). Далее — первичные хищники, вторичные хищники. Всего в экосистемах имеется 5—7 трофи-

ческих уровней, так как из-за потерь энергии на поддержание обменных процессов каждому последующему трофическому уровню достается все меньше энергии.

Человек своей деятельностью стремится нарушить указанные выше принципы функционирования экосистем.

Загрязнение — любое нежелательное для экосистем антропогенное изменение. Виды загрязнений: ингредиентное, параметрическое, биоценоотическое, ландшафтное (рис. 1.4) [4].

Ингредиентное вызвано воздействием совокупности химических веществ, количественно и качественно чуждых естественным биогеоценозам.

Параметрическое связано с изменением качественных параметров ОС (шум, вибрации, теплота, электромагнитное излучение).

Биоценоотическое заключается в воздействии на состав и структуру популяций живых организмов.

Ландшафтное представляет собой разрушение местообитания организмов и нарушение регенерационных свойств природных ландшафтов.

Данные об объемах и динамике потребления природных ресурсов, загрязнения окружающей среды показывают, что человечество чрезмерно эксплуатирует источники и стоки планеты. Темпы использования материалов и энергии из планетарных источников и темпы приема отходов планетарными стоками должны согласовываться и не причинять ущерба природным процессам поглощения, регенерации и регулирования, так как любой вид ресурсов (пища, вода, лес, железо, нефть и т. д.) ограничен своими источниками и стоками.

Истинная природа этих ограничений сложна. Так, на рис. 1.5 показана динамика потоков загрязнений и формирования стоков (депонирующих сред) на примере промышленного региона [5].

Источники и стоки могут воздействовать друг с другом. Один и тот же элемент природной системы может быть одновременно источником и стоком (участок земли, где выращиваются сельскохозяйственные культуры и выпадают кислотные осадки). Способность природной системы выполнять одну из этих функций зависит от того, с какой интенсивностью она выполняет другую. Существуют устойчивые связи между загрязнением окружающей среды и круговоротом веществ (рис. 1.6) [6]. Основным препятствием нарушения экологического равновесия в окружающей среде является наличие определенного потенциала ее самовосстановления и очищения от загрязнителей.

Антропогенная деятельность человека приводит к *потере устойчивости экосистем, их деградации и разрушению*. Это проявляется в изменении параметров окружающей среды (концентрации химических веществ, температуры, влажности воздуха, давления и др.) и со-

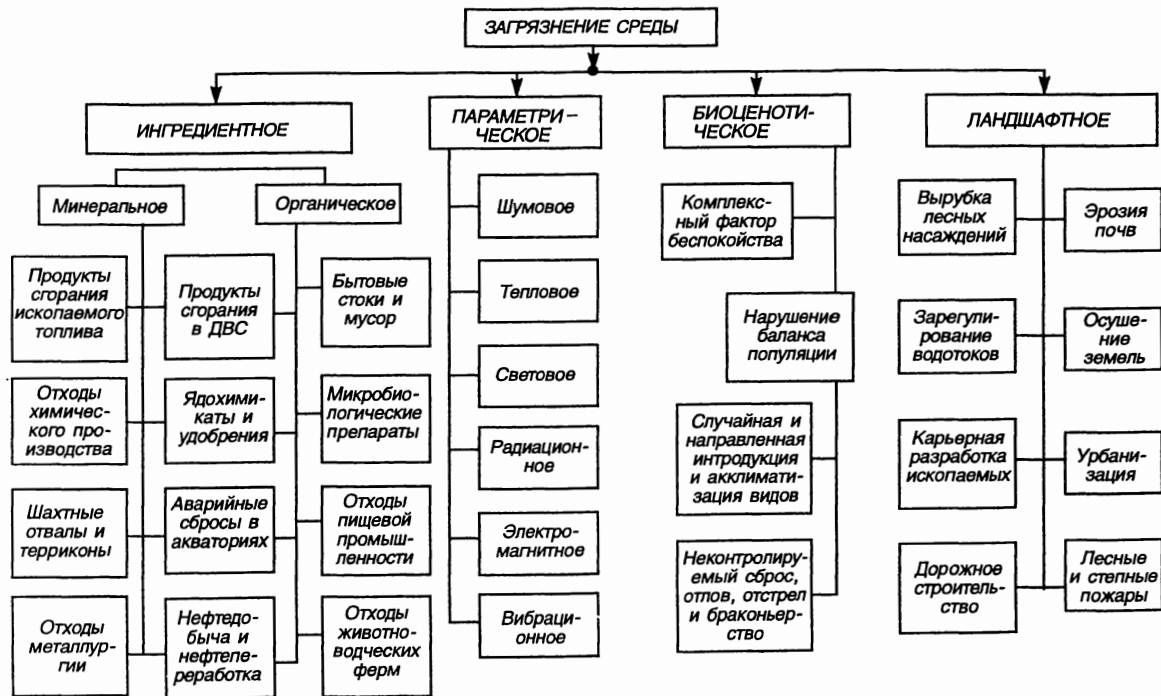


Рис. 1.4. Виды загрязнений окружающей среды

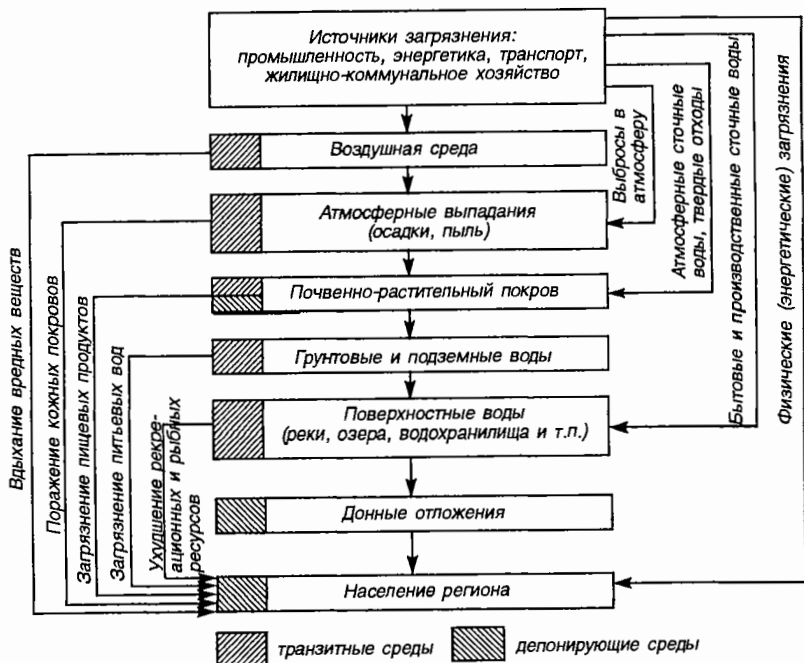


Рис. 1.5. Динамика потоков загрязняющих веществ от объектов промышленности и транспорта

крашении биоразнообразия. Оказывается разрушенным и разомкнутым биогеохимический круговорот веществ. Поэтому природные ресурсы перестают воспроизводиться в пределах прежних естественных колебаний.

Экосистемы разрушаются также в результате:

- возможного изменения климата из-за изменения концентрации отдельных газов (O_3 , CO_2) в стратосфере и тропосфере;
- снижения прозрачности атмосферы за счет ее загрязнения;
- изменения альбедо земной поверхности в результате воздействия на природные ландшафты (уничтожение растительности, вспашка и орошение земель);
- атмосферно-гидросферного закисления (рН-эффект, который обусловлен повышением концентрации ионов водорода из-за выбросов в атмосферу оксидов азота и серы).

Последствия этих и других наблюдаемых явлений для здоровья человека недостаточно изучены. Мера этих проявлений неизвестна.

Экологический кризис — нарушение биогеохимического круговорота в результате разрушения и угнетения человеком естественных экосистем и, как следствие, нарушение устойчивости окружающей среды.

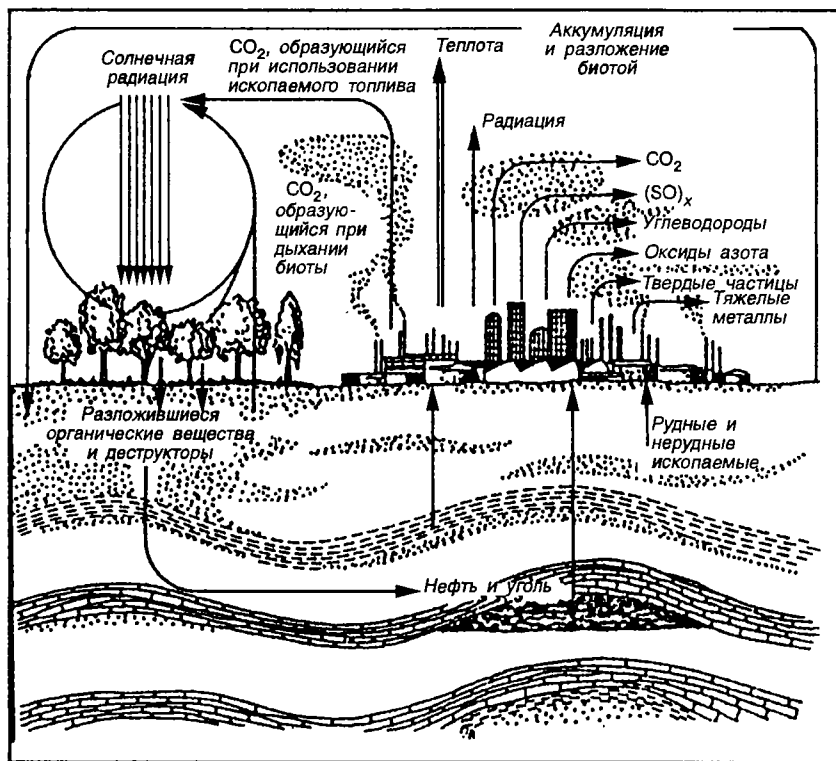


Рис. 1.6. Схема связи между загрязнением атмосферы и круговоротом веществ

Возникает положительная (т. е. по схеме усиления) обратная связь — проявление кризиса ослабляет устойчивость многих экосистем, сообществ организмов, что, в свою очередь, усиливает нарушение биогеохимического круговорота и т. д.

Человек в созданной им искусственной среде обитания (которая, однако, погружена в естественную среду и очень жестко зависит от нее) всегда будет жить и действовать, рискуя вызвать необратимые изменения в окружающей среде.

Обеспечение экологической безопасности — такое ограничение действия детерминированных и случайных факторов, когда допустимые уровни опасности не превышают порога устойчивости биоты.

Признаками выхода за пределы устойчивости являются следующие:

- сокращение запасов ресурсов;
- увеличение концентрации загрязнителей;

— отвлечение капитала, материальных, трудовых ресурсов от производства конечной продукции на эксплуатацию более скудных, отдаленных, более рассеянных ресурсов или на виды деятельности, которые раньше бесплатно делала природа (обработка сточных вод, очистка воздуха, восстановление питательных веществ в почве, сохранение биоразнообразия), или для охраны, поддержания, получения доступа к оставшимся ресурсам;

— сбой природных механизмов очистки от загрязнений;

— возрастание числа конфликтов из-за владения источниками или стоками.

В итоге:

— население и экономика получают искаженные и запаздывающие сигналы о физических пределах источников и стоков материалов и энергии, а также происходит запаздывание ответов на эти сигналы;

— пределы системы не только конечны, но и подвержены разрушению при избыточной нагрузке на них.

Одна из распространенных ошибок — попытки общества обойти проблему существования ограничений, подменяя ее слепой верой в технический прогресс и возможности свободного рынка.

Рынок нужен для привлечения внимания к проблеме (истощение ресурсов или рост загрязнения среды), для изыскания средств на ее решение, выбора наилучшего варианта решения и получения положительного результата. Технология служит средством решения проблемы. Рынок и технологии зависимы и образуют контур отрицательной обратной связи, т. е. цепь причинных отношений, которая меняет направление изменений на противоположное, корректирует ситуацию, восстанавливает баланс. При этом истощение преодолено, загрязнение уничтожено. Общество может продолжать рост. Такие адаптивные контуры играют важную роль, но удалив или отодвинув один предел, общество неизбежно столкнется с одним или с несколькими другими пределами.

Устойчивое развитие — обеспечение условий, когда контуры положительных и отрицательных обратных связей уравнивают друг друга, а основные запасы планетарной экосистемы (население, капитал, земля, невозобновимые ресурсы, уровень загрязнения) находятся в состоянии динамического равновесия и остаются постоянными.

Общество, достигшее состояния устойчивости (динамического равновесия), отличается тем, что в нем:

— стабилизируется численность населения;

— экономическое развитие происходит при стабильном потреблении природных ресурсов (новые заводы, дороги, здания, машины производятся взамен старых, которые разрушаются и поступают во вторичную переработку);

— поток материальных благ, приходящийся на одного человека, не увеличивается, но становится разнообразнее по составу.

Устойчивое общество очищает окружающую среду от загрязнителей с использованием биотехнологий, овладевает новыми знаниями, повышает эффективность производственных процессов, меняет технологии, совершенствует систему управления, обеспечивает более справедливое распределение и делает жизнь более разнообразной. Принципы обеспечения устойчивого развития, связанные с потреблением ресурсов (энергии и материалов), заключается в следующем [1]:

— темпы потребления возобновимых ресурсов (почва, вода, древесина, биоресурсы) не должны превышать темпов регенерации. Возобновимые ресурсы способны к восстановлению через размножение или другие природные циклы за сроки, соизмеримые со сроками их потребления;

— темпы потребления невозобновимых ресурсов (ископаемое топливо, высококачественные руды, грунтовые воды) не должны превышать темпов их замены на неисчерпаемые или возобновимые ресурсы (солнечная энергия, ветер, приливы, геотермальные воды, энергия волн, вещества, включенные в естественные биогеохимические циклы круговорота). Например, нефтяное месторождение можно эксплуатировать в стабильном режиме, если часть доходов от него систематически вкладывается в производство устройств преобразования солнечной, ветровой, приливной, геотермальной энергии (неисчерпаемые ресурсы) или посадку деревьев. В результате после исчезновения нефти будет обеспечен эквивалентный поток энергии от неисчерпаемого или возобновимого ресурса;

— интенсивность выбросов загрязняющих веществ не должна превышать темпов, с которыми эти вещества перерабатываются, поглощаются или теряют вредные для ОС свойства. Например, канализационные стоки можно спускать в реки со скоростью, при которой природные экосистемы в состоянии их переработать.

Устойчивое развитие природных экосистем обеспечивается *биотическим потенциалом* — размером популяций живых организмов, приспособленностью их к местообитанию, а также диапазоном наследственности, который позволяет адаптироваться к быстрым изменениям свойств окружающей среды.

Специалисты, работающие на транспорте и в дорожном хозяйстве, должны стремиться к обеспечению устойчивости транспортной системы — баланса «спрос-предложение» при повышении качества перевозок и сохранении экологически безопасного уровня воздействия на окружающую среду.

1.2. Воздействие промышленности и транспорта на окружающую природную среду (общие положения)

Промышленность и транспорт оказывают на окружающую среду, отдельные экосистемы как положительное, так и отрицательное влияние. С одной стороны, нарушаются принципы функционирования экосистем, они могут деградировать и потерять устойчивость, но с другой — транспорт обеспечивает движение материальных потоков (строительство автомобильных дорог, аэродромов, пристаней, создание транспортной техники, организация и управление движением транспортных средств, хранение товаров), обеспечивает комфортабельные условия жизнедеятельности людей.

Транспортное средство является источником повышенной опасности для здоровья и жизни людей из-за возможного вовлечения в дорожно-транспортные происшествия (ДТП), загрязнения ОС вредными выбросами, транспортного дискомфорта, потребления природных ресурсов, но вместе с тем несет положительные социально-экономические и морально-психологические эффекты (табл. 1.1) [2].

Т а б л и ц а 1.1. Влияние автомобилизации на окружающую среду

Позитивные аспекты	Негативные аспекты
Развитие торговли, политических, культурных связей, расширение контактов	Нарушение газового и энергетического равновесия в атмосфере
Стимулирование научно-технического прогресса, предоставление рабочих мест	Истощение ресурсов атмосферы, полезных ископаемых, пресной воды
Включение транспорта в производственные процессы и сокращение инновационных циклов при производстве товаров	Уничтожение живых организмов в дорожно-транспортных происшествиях
Ощущение свободы и независимости индивида	Отравление биологических ресурсов, в том числе растений, животных, человека
Расширение возможностей для проживания в благоприятных условиях	Усиление стрессовых нагрузок участников движения
Расширение жизненного пространства для отдельного индивида	Уменьшение жизненного пространства за счет отчуждения площадей территорий
Повышение доступности социально-бытовых услуг для потребителей	Сокращение биологической продуктивности ландшафта
Удовлетворение потребности на широкий ассортимент товаров, свежие продукты	Нарушение гармонии городских застроек и сельских ландшафтов
Ощущение радости от быстрой езды, комфорта и удобства в неблагоприятных погодных условиях	Рост налогов и затрат, связанных с автотранспортом. Изменение структуры семейного бюджета

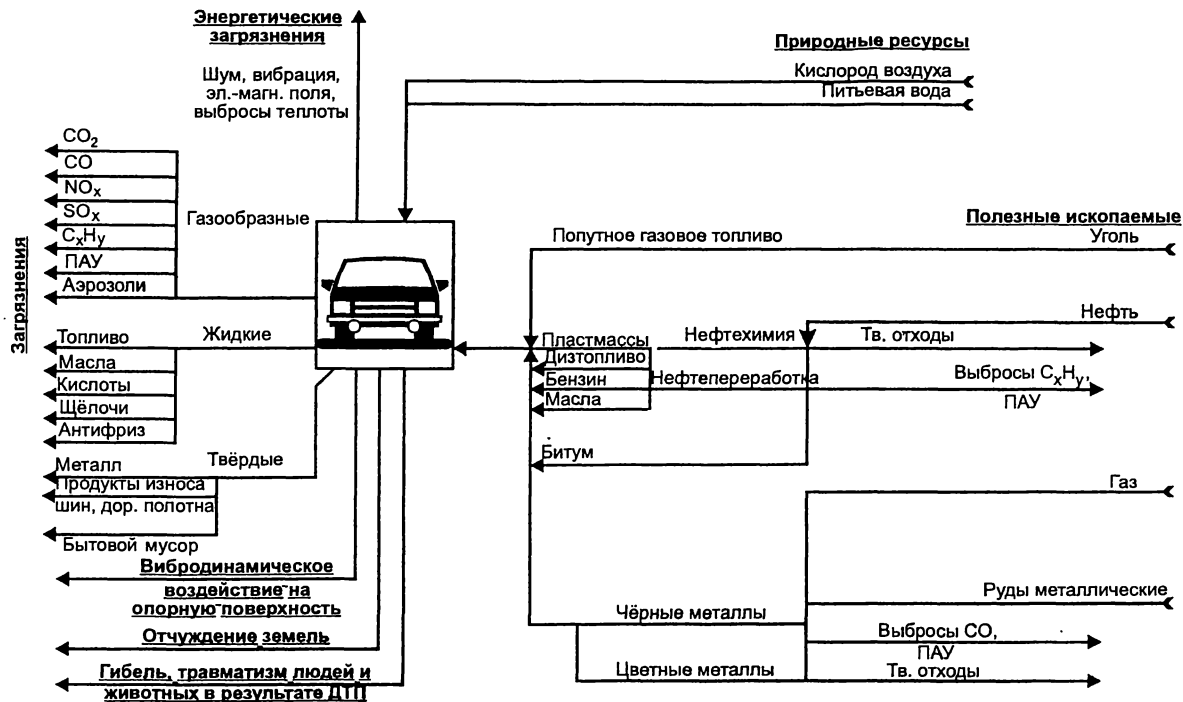


Рис. 1.7. Виды воздействия транспортных объектов на окружающую среду

На рис. 1.7 схематично указаны основные виды негативного воздействия транспортного средства на окружающую среду в процессе реализации его жизненного цикла, начиная от производства черных и цветных металлов, топлив, масел и заканчивая его разрушением. Положительные и негативные аспекты функционирования транспортных средств формализуются в виде вектора требований к их конструкции, направленность которого меняется во времени под действием различных факторов, что приводит к усложнению технологий изготовления и использования, увеличению финансовых затрат. Можно выделить несколько рубежных точек, которые служили причиной для изменения приоритетов требований [7] (рис. 1.8).

В 50-е годы XX столетия требования диктовались североамериканскими производителями автотранспортных средств (АТС) и были ориентированы на повышение комфорта. Это было время автомобилей больших габаритных размеров с мощными быстроходными карбюраторными двигателями, широким использованием автоматических трансмиссий и электрических сервоприводов.

В 60-е годы основное внимание уделялось безопасности пассажиров в связи с принятием соответствующего закона в США. Сделаны шаги в направлении повышения пассивной безопасности конструкции при фронтальном столкновении.

В конце 60-х—начале 70-х годов введение ограничений на выбросы токсических веществ с отработавшими газами АТС в США, Японии и затем Западной Европе привело к тому, что основным приоритетом стало уменьшение выбросов CO , C_xH_y , NO_x , сажи с отработавшими газами.

Следующий рубежный пункт (середина 70-х—начало 80-х годов) связан с мировыми нефтяными кризисами. Основным приоритетом состоял в повышении топливной экономичности.

Следующая смена приоритетов (с середины 80-х годов и до начала 90-х годов) продиктована ужесточением конкурентной борьбы между производителями АТС. На первом плане — улучшение тягово-скоростных свойств за счет использования высокофорсированных ДВС.

Дальнейшее ужесточение конкурентной борьбы привело в 90-х годах к смещению приоритетов в сторону повышения комфортабельности и пассивной безопасности конструкции за счет внедрения в массовое производство электронного управления силовым агрегатом и трансмиссией, кондиционеров, новых методов расчета и проектирования.

В конце 90-х годов основное требование — повышение безопасности за счет использования новых поколений антиблокировочных систем, совмещенных со средствами предотвращения столкновений, бортовых навигационных систем, других интеллектуальных технологий на базе развития автомобильной микроэлектроники и информатики. Появилась техническая возможность снизить безопасное

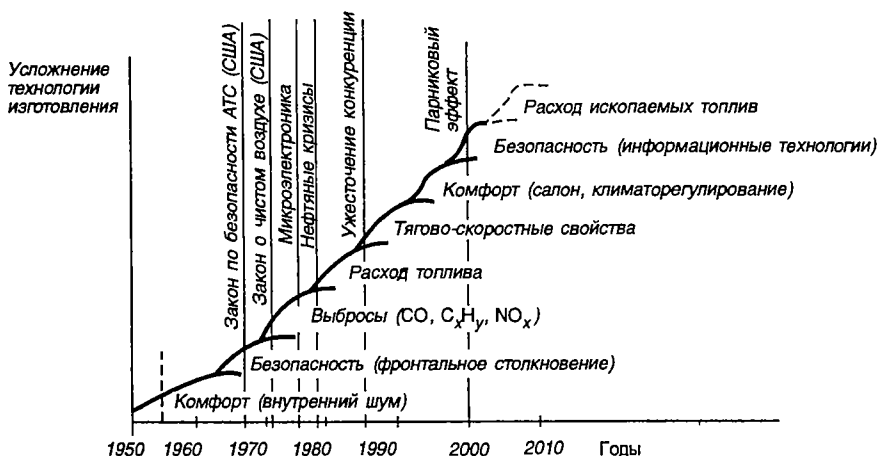


Рис. 1.8. Динамика результирующего вектора требований к конструкции легковых автомобилей

расстояние между движущимися АТС в 3—4 раза, информировать водителей о возможных препятствиях на маршруте, оптимизировать режимы движения применительно к складывающимся ситуациям на дороге.

На рубеже веков и на среднесрочную перспективу основным является требование минимизации потребления ископаемых углеводородных топлив при обеспечении высокой транспортной эффективности, требуемого (нормативного) уровня безопасности выполнения транспортных услуг, транспортного комфорта, безвредности воздействия на окружающую среду.

Автомобильная дорога как инженерное сооружение при своем проложении на местности нарушает природные ландшафты, изменяет режим стока поверхностных и грунтовых вод, оказывает другие негативные воздействия (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Воздействие дороги на окружающую среду

Вид негативного воздействия	Мероприятия
Изъятие местных природных ресурсов	Отчуждение земельной площади (постоянное и временное). Добыча каменных материалов, песка, грунта. Снятие почвы, дернового слоя
Изменение рельефа местности	Устройство насыпей выше (ниже) возвышений местного рельефа, с уложенными и рекультивированными откосами, выемок, боковых резервов. Отвалы неиспользованного грунта. Разработка сосредоточенных резервов, сочетающихся после рекультивации с естественным рельефом, глубоких карьеров

Вид негативного воздействия	Мероприятия
Гидротехнические работы	Осушение (дренаж) земель, болот. Регулирование стока (водоотвод). Устройство напорных водопропускных сооружений. Изменение русла водотоков. Устройство насыпей на болотах
Технологические загрязнения	Выделение минеральной пыли. Шум, вибрация строительных машин, от взрывных работ. Сток грунтовой суспензии, сточных вод. Засорение поверхности в местах временных сооружений, стоянки машин, проведения взрывных работ. Прокладка коммуникаций в придорожной полосе. Обработка пестицидами, противогололедными веществами
Транспортные загрязнения	Отработавшие газы транспортных средств. Транспортный шум, вибрации. Бытовое загрязнение придорожных земель проезжающими. Рекреационные нагрузки

При пересечении речных долин на подходах к искусственным сооружениям нарушается средняя скорость преобладающих ветров, что приводит к изменению микроклимата и взаимосвязанных с ним экосистем. Дорога может нарушить традиционные сезонные пути миграции животных и насекомых, архитектурные и археологические памятники. Использование противогололедных материалов, дорожная пыль и эрозия почв при вскрышных работах подавляет придорожную растительность, загрязняет водоемы и водотоки. Использование при сооружении конструктивных дорожных слоев одежд местных строительных материалов и отходов промышленного производства (пиритовые огарки, ртутьсодержащие отходы, каменноугольные дегти, смолы, радиоактивные породы, шламы цветной металлургии и энергетики) приводят к загрязнению придорожной полосы токсичными веществами.

Инженерные сооружения (мостовые переходы, трубы, развязки, тоннели различного заложения, подпорные стенки, защитные сооружения) имеют свою специфику влияния на окружающую среду. При строительстве мостовых переходов происходит переформирование береговой линии, изменение сечения водотока и контуров водоемов, нарушается гидрологический режим, проявляются размывы. Могут быть уничтожены нерестилища рыб и зимовальные ямы.

Таким образом, основными видами воздействия транспортного комплекса на окружающую среду являются (рис. 1.9):

- отчуждение площадей территорий под дороги и объекты транспортной инфраструктуры, эрозийные процессы, осушение, рубки лесов, карьерная разработка строительных материалов;

- изъятие природных минеральных, водных, энергетических ресурсов;

- технологическое и транспортное загрязнение вредными веществами, шумом, вибрациями, теплотой, электромагнитными и



Рис. 1.9. Схема воздействия транспортного комплекса на ОС

ионизирующими излучениями окружающей среды (воздуха, воды, почвы, биоты) предприятиями транспорта и дорожного хозяйства, дорогами как линейными сооружениями (транспортными потоками).

Мероприятия, позволяющие снизить воздействие транспорта на ОС:

- совершенствование нормативно-правовой базы для обеспечения экологической безопасности (устойчивого развития) промышленности и транспорта;

- создание экологически безопасных конструкций объектов транспорта, эксплуатационных, конструкционных, строительных материалов, технологий их производства;

- разработка ресурсосберегающих технологий защиты ОС от транспортных загрязнений;

- разработка алгоритмов и технических средств мониторинга ОС на транспортных объектах и прилегающих к ним территориях, методов управления транспортными потоками для увеличения пропускной способности дорожной и улично-дорожной сети в крупных городах;

- совершенствование системы управления природоохранной деятельностью на транспорте.

Экологические ограничения должны учитываться на всех этапах ЖЦ объектов транспорта (обоснование инвестиций, проектирование, изготовление, строительство, реконструкция, ремонт, содержание, демонтаж), создания дорожно-транспортной техники, а также при оценке перспектив развития транспортной системы. Эти ограничения особо значимы на природоохранных, урбанизированных территориях.

Круг проблем и пути их решения лежат в области рационального потребления природных ресурсов, защиты атмосферы, водоемов и водотоков, почвы, селитебных зон и местообитаний животных от негативного воздействия автотранспортного комплекса, создания замкнутых промышленно-утилизационных технологий транспортной деятельности.

Принципиально природа воздействия видов транспорта на окружающую среду одинакова, как одинаковы методы их изучения и описания. Далее ограничимся изучением экологических характеристик объектов автомобильного транспорта и дорожного хозяйства, предполагая, что они могут быть распространены на другие виды транспорта в силу общности методических подходов.

ГЛАВА 2

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Основными процессами *при воздействии промышленности и транспорта* на окружающую среду являются:

— горение, термогазодинамические процессы в двигателях, технологических печах и устройствах сжигания твердых, жидких и газообразных ископаемых топлив для получения электрической, тепловой энергии, пара, сжатого воздуха;

— каталитическая нейтрализация, абсорбция, перегонка жидкостей, жидкостная экстракция, адсорбция, сушка, растворение и экстрагирование, кристаллизация, массообмен, реализуемые на этапах ЖЦ объектов транспорта;

— испарение, потери топлива, эксплуатационных жидкостей, лакокрасочных и других материалов при создании, обслуживании и ремонте транспортной техники;

— износ деталей, узлов машин, элементов транспортных средств, дорожной одежды (выбросы частиц конструкционных материалов, продуктов износа шин, дорожного покрытия, фрикционных материалов);

— пластическая деформация, механическая, электромеханическая обработка материалов, очистка деталей на этапах жизненных циклов объектов транспорта;

— виброакустическое излучение движущихся объектов транспорта и частей машин, а также электромагнитное излучение электрических машин и электронных устройств, используемых для управления в технологических процессах реализации жизненных циклов объектов транспорта и управления движением, другие виды энергетического загрязнения;

— ландшафтные нарушения.

С помощью транспортных средств осуществляется перемещение материальных объектов в пространстве, источником энергии которых являются тепловые двигатели, преобразующие химическую энергию топлива в механическую работу.

Тепловые потоки, образующиеся при сжигании топлива автомобильным транспортом, а также в результате изменения характери-

стик подстилающих поверхностей (заасфальтированные территории) оказывают заметное влияние на параметры окружающей среды (температуру, давление, влажность атмосферного воздуха, направление, скорость ветра и др.) в крупных мегаполисах.

2.1. Термодинамические основания взаимодействия тепловой машины с окружающей средой

Тепловая машина (двигатель внутреннего сгорания) работает, взаимодействуя с атмосферой. Двигатель внутреннего сгорания меняет рабочее тело в каждом цикле. Такой массообмен осуществляется с атмосферой. В процессе получения полезной работы происходит теплообмен все с той же окружающей средой, т. е. принцип работы тепловой машины предполагает ее взаимодействие с окружающей средой в соответствии с законами термодинамики.

Термодинамический процесс — переход системы из одного состояния в другое в результате ее взаимодействия с окружающей средой. Если процесс происходит со скоростью значительно меньшей скорости релаксации, то на любом его этапе значения всех интенсивных параметров системы будут успевать выравниваться.

Этот процесс представляет непрерывную последовательность бесконечно близких друг к другу равновесных состояний, которые называют *квазистатическими* или *равновесными*. Равновесные процессы допускают графическое изображение в пространстве и на плоскостях параметров состояния.

Равновесный процесс может идти как в направлении возрастания, так и убывания любого из параметров состояния, т. е. как в одном, так и в противоположном направлениях. При этом система каждый раз будет проходить через те же состояния, но в обратном порядке. Поэтому равновесные процессы являются *обратимыми*. При возвращении системы в исходное состояние окружающей среды полностью возвращается и ранее полученная от нее теплота. Таким образом, при течении в обратном направлении первоначальный процесс как бы «стирается» и никаких «следов» его не остается.

Отсутствие каких-либо остаточных изменений в системе и в окружающей среде при возвращении системы в исходное состояние является отличительным свойством обратимого процесса. Процесс, не обладающий этим свойством, называется *необратимым*. Если система совершила необратимый процесс, то ее возвращение в исходное состояние требует дополнительных энергозатрат со стороны окружающей среды. Так, работа, совершенная системой в необратимом процессе, недостаточна для обратного ее перехода в начальное состояние. Как отмечал Планк (1858—1947), «с каждым необратимым

процессом система делает некоторый такой шаг вперед, следы которого ни при каких обстоятельствах не могут быть уничтожены».

Все реальные процессы вследствие *трения, теплообмена при конечной разности температур и ограниченности времени* их протекания необратимы.

Понятие обратимого процесса возникло как результат идеализации реальных необратимых процессов. Мерой необратимости служит *э н т р о п и я*. Она характеризует:

а) ценность теплоты (ее работоспособность и технологическую эффективность). Чем выше температура теплоносителя T при том же количестве теплоты q , т. е. чем меньше энтропия $s = (q/T)$, тем теплота ценнее, поскольку шире может быть использована не только для совершения работы, но и для технологических нужд. При температуре окружающей среды T_0 (энтропия максимальна) теплоту никак нельзя использовать;

б) потери работы из-за необратимости реальных процессов;

в) меру беспорядка. При подводе теплоты увеличивается хаотическое движение частиц (беспорядок), отводе — уменьшается неупорядоченность и, следовательно, энтропия вплоть до величины покоя (при нуле абсолютной температуры).

В общем случае бесконечно малое изменение энтропии системы определяется выражением

$$dS = dS_e + dS_i,$$

где dS_e — изменение энтропии системы, связанное с ее взаимодействием с окружающей средой; dS_i — изменение энтропии системы, обусловленное возможным протеканием внутри нее необратимых процессов, например, в ходе установления в ней внутреннего равновесия.

Если рассматривать простые однородные системы с двумя степенями свободы, то речь идет об установлении механического (выравнивание давления) и теплового (выравнивание температуры) равновесия.

В неравновесной изолированной ($dS_e = 0$) системе энтропия системы в ходе установления внутреннего равновесия изменяется следующим образом. В ней подвод теплоты происходит к менее нагретой части от более нагретой. Именно такое направление имеют естественные процессы теплообмена, наблюдаемые в природе.

Увеличение энтропии системы при протекании в ней необратимых процессов иногда называют *производством* энтропии. По мере приближения изолированной системы к состоянию равновесия производство энтропии будет замедляться, а при установлении равновесия вовсе прекратится. Условие $dS_i = 0$ будет означать, что энтропия системы максимальна. Обобщая сказанное, можно записать $dS_i \geq 0$.

При любом переходе энергии из одного вида в другой некоторое количество первичной энергии всегда теряет свое качество (цен-

ность), т. е. способность выполнять полезную работу. Обычно эта часть энергии вследствие трения, теплопроводности или конечности времени их протекания рассеивается в виде теплоты. Высококачественная энергия (обладает низкой энтропией) в отличие от вещества не может быть восстановлена или использована повторно. Избежать увеличения энтропии (снижения качества энергии) окружающей среды в статистических системах невозможно, но можно пытаться сократить или свести к минимуму количество произведенной энтропии.

Превращение тепловой энергии в любой другой вид энергии в открытом термодинамическом процессе возможно лишь однократно, т. е. до того момента, пока рабочее тело из неравновесного состояния 1 (рис. 2.1) не перейдет в состояние равновесия с окружающей средой 2. Чтобы продолжить превращение, необходимо вернуть рабочее тело из состояния 2 в состояние 1, т. е. замкнуть процесс 1-A-2, например, по линии 2-B-1.

Замкнутый термодинамический процесс называется *циклом*. Все тепловые машины работают по тепловым циклам. Необходимым условием получения работы с помощью тепловых машин является наличие как минимум двух источников теплоты: горячего (верхнего) и холодного (нижнего). Это связано с тем, что теплота, полученная рабочим телом от верхнего источника, не может быть полностью превращена в механическую работу. Часть ее должна быть обязательно отдана нижнему источнику теплоты.

Для оценки эффективности циклов используется *термический коэффициент полезного действия* η_t — отношение количества полученной работы $w = q_1 - q_2$ к количеству затраченной работы q_1 :

$$\eta_t = w/q_1 = 1 - (q_2/q_1). \quad (2.1)$$

Оценку совершенства рабочего процесса тепловых двигателей можно вести относительно идеала — *цикла Карно* (рис. 2.2), в котором идеальный (без потерь) подвод теплоты от источника с неизменной температурой T_1 к рабочему телу осуществляется по изотерме (T_1 -const). Здесь и отвод теплоты от рабочего тела к источнику с неизменной температурой T_2 также осуществляется изотермически (T_2 -const). Поскольку другие источники теплоты отсутствуют, переходы с температурного уровня T_1 на уровень T_2 и обратно возможны лишь по адиабатам, т. е. при q_1 -const и q_2 -const.

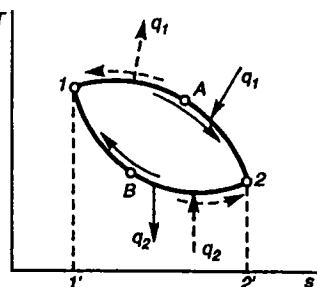


Рис 2.1. Прямой и обратный произвольный термодинамический цикл

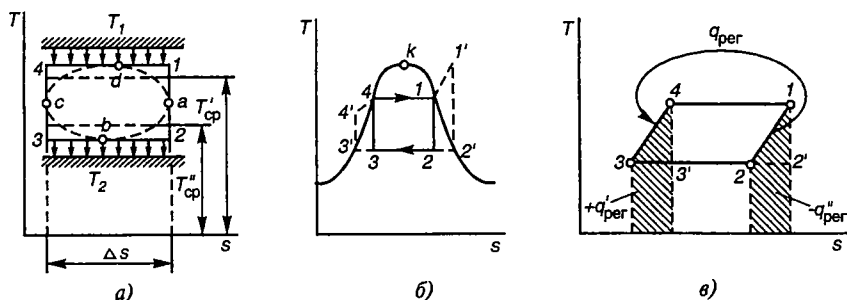


Рис. 2.2. Идеальный цикл тепловых машин (цикл Карно):
а — с произвольным рабочим телом; б — с паром; в — регенераторный

Термический КПД цикла Карно равен

$$\eta_{\text{К}} = 1 - (q_2/q_1) = 1 - (T_2/T_1), \quad (2.2)$$

т. е. не зависит от свойств рабочего тела, а целиком определяется температурами источников T_2 и T_1 .

С помощью энтропии можно показать, что теплота теряет свое качество превращаться в работу при понижении температуры горячего источника, т. е. теряет свою *работоспособность*.

Рассмотрим график, изображенный на рис. 2.3, где представлены три цикла Карно, в которых температура холодного источника одинакова и равна температуре окружающей среды, т. е. $T_2 = T_0 = \text{const}$, а температура горячего источника разная — $T_1 > T'_1 > T''_1$.

Подводимая теплота во всех трех циклах одинакова и равна q_1 . Отводимая теплота в первом цикле равна $q_2 = T_0 \Delta s_1$, во втором $q'_2 = T_0 \Delta s_2$ и в третьем $q''_2 = T_0 \Delta s_3$. Из графика следует, что при одинаковой подводимой во всех трех случаях теплоте q_1 , отводимые теплоты $q_2 > q'_2 > q''_2$.

В полезную работу в первом цикле (где $T_1 > T'_1 > T''_1$) превратится максимальное количество теплоты и приращение энтропии будет минимальным. Чем в большей степени при подводе теплоты к рабочему телу увеличи-

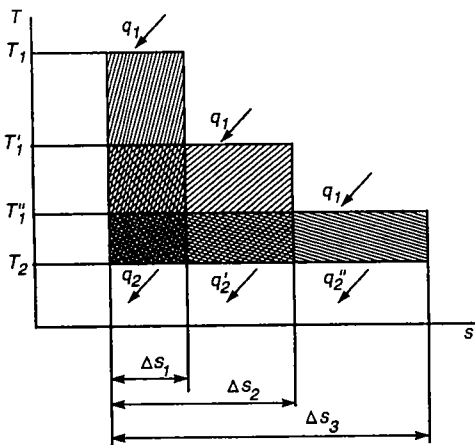


Рис. 2.3. Циклы Карно в T - s -координатах при одинаковом количестве подведенной теплоты q_1 , реализуемые в разных интервалах температур

вается энтропия, тем КПД цикла меньше и подведенная теплота менее эффективна, т. е. менее работоспособна. Следовательно, при понижении температуры горячего источника работоспособность теплоты уменьшается. При определении термического КПД цикла по традиционной формуле (2.2) это качество теплоты не учитывается.

Эксергия (техническая работоспособность e_q) — количество полезной энергии, полученной из исходных энергоресурсов за вычетом затраченной на ее получение полезной энергии, т. е.

$$e_q = q_1 - T_0 s_1 = q_1 - T_0 (q_1 / T_1), \quad (2.3)$$

где T_0 — температура окружающей среды, в которую отдается часть теплоты после совершения работы ($T_1 > T_0$).

В силу необратимости реальных процессов ни одна тепловая машина не работает по циклу Карно. Но теоретические циклы их по совершенству использования теплоты оцениваются степенью приближения термического КПД к значению КПД идеального цикла Карно. Большинство инженерных решений, используемых для усовершенствования тепловых двигателей, направлены на приближение их цикла к циклу Карно (регенерация, промежуточный подогрев рабочего тела при подводе теплоты, промежуточное его охлаждение при отводе теплоты и др.). Теоретическое количество теплоты, которое может быть выделено при сжигании топлива, никогда не используется по назначению полностью. Часть ее теряется. В тепловых двигателях — до 60—70%.

Для анализа эффективности работы двигателей используют тепловой баланс вида

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}}, \quad (2.4)$$

$$Q_{\text{пр}} = H_u + Q_{\text{г}} + Q_o, \quad (2.5)$$

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{уг}} + Q_{\text{хнс}} + Q_{\text{мнс}} + Q_{\text{ту}} + Q_{\text{ос}} + Q_{\text{нп}} + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{м}}, \quad (2.6)$$

где $Q_{\text{пр}}$ — приход теплоты; $Q_{\text{пол}}$ — полезно использованная теплота; $Q_{\text{пот}}$ — потери теплоты; H_u — низшая теплота сгорания топлива; $Q_{\text{г}}$ — физическая теплота, вносимая с топливом; Q_o — физическая теплота, вносимая с окислителем; $Q_{\text{уг}}$ — теплота, потерянная с отработавшими газами; $Q_{\text{хнс}}$ — теплота, недовыделившаяся из-за химической неполноты сгорания (недостатка окислителя), а также из-за диссоциации продуктов сгорания при высокой температуре; $Q_{\text{мнс}}$ — теплота, недовыделившаяся из-за механической неполноты сгорания (уноса и потерь частиц горючего); $Q_{\text{ту}}$ — теплота, израсходованная на нагрев двигателя от температуры окружающей среды до рабочей температуры; $Q_{\text{ос}}$ — теплота, теряемая в окружающую среду за счет прямой теплопередачи двигателя; $Q_{\text{нп}}$ — неучтенные потери

теплоты; $Q_{\text{охл}}$ — теплота, потерянная с охлаждающими агентами (антифризом, маслом, стенками цилиндров); Q_m — теплота, эквивалентная работе, затраченной на привод вспомогательных механизмов, на преодоление трения между деталями [8].

Способы уменьшения тепловых потерь, идущих в конечном итоге на подогрев окружающей среды, зависят от многих факторов. Так:

$Q_{\text{уг}}$ уменьшается при снижении молярной массы и температуры отработавших газов, а также с помощью регенерации, т. е. подогрева уходящими газами горючего и окислителя;

$Q_{\text{хнс}}$ уменьшается при улучшении смесеобразования, правильном выборе состава топливно-воздушной смеси и поддержания температуры горения до 2300 К;

$Q_{\text{мнс}}$ зависит от вида топлива. Твердое горючее теряется в горелочных устройствах, проваливаясь через колосники; пылевидное легко уносится, не догорев, с уходящими газами. Жидкое и газообразное топливо уносится редко, но при больших скоростях потока в топке или камере сгорания возможен и его унос;

$Q_{\text{ту}}$ уменьшается с уменьшением размеров энергоустановки, теплоемкости материалов из которых она изготовлена, ее рабочей температуры и снижением излучающей способности (наружной) поверхности;

$Q_{\text{ос}}$ уменьшается с уменьшением размеров энергоустановки, коэффициента теплоотдачи через ее стенки и коэффициента излучения поверхности в окружающую среду;

Q_m уменьшается с улучшением качества смазки трущихся деталей (поршень и цилиндр, например), зависит от конструкции, скорости их движения и состояния поверхностей трения;

$Q_{\text{охл}}$ зависит от особенностей рабочего процесса и других факторов.

Тепловой баланс дает количественную картину распределения потерь теплоты, ничего не говоря о эксергии (работоспособности) теплоты.

В термодинамических системах, которыми являются тепловые двигатели со сменяемым рабочим телом, термодинамическую эффективность можно оценить также по эксергетическому балансу или уровню *эксергетических потерь* по формуле [9]

$$D = T_0 \sum \Delta S_i = T_0 \left(\sum_n G_i^y S_i^y - \sum_m G_i^e S_i^e \right) + \Delta Q, \quad (2.7)$$

где G_i^y , S_i^y и G_i^e , S_i^e — расход и энтропия i -го потока соответственно на выходе и входе соответствующего элемента системы; ΔQ — тепловые потери, т. е. количество теплоты, переданного окружающей среде разными способами.

Эксергетический анализ тепловых потерь дополняет тепловой баланс, позволяя лучше оценить качественную картину энергетических потерь в тепловых двигателях при оценке их взаимодействия с окружающей средой.

2.2. Реакции горения углеводородных топлив

2.2.1. Материальные балансы при сжигании топлив

Для определения количественных показателей образования и потребления всех веществ, участвующих в процессе получения энергии при сжигании топлива и из окружающей среды, используются уравнения материального баланса топлив.

Основным источником теплоты при сгорании топлив является окисление содержащихся атомов углерода С и водорода Н. Кроме того, в топливах могут содержаться в незначительном количестве сера, соединения азота, кислородсодержащие соединения (спирты, эфиры и др.), тяжелые металлы (табл. 2.1).

Т а б л и ц а 2.1. Свойства топлив, используемых в жизненных циклах объектов транспорта

Топливо	Элементный состав, % (по массе)					l_0 кДж/кг	H_u МДж/кг
	w_C	w_H	w_O	w_N	w_S		
Водород	—	100	—	—	—	34,34	119,6
Сжатый природный газ	71,0	23,2	0,4	5,3	0,1	13,63	46,9
Сжиженный нефтяной газ	84,0	16,0	—	—	0,01	15,1	45,5
Метанол CH_3OH	37,5	12,5	50,0	—	—	6,5	19,6
Диметилэфир CH_3OCH_3	52,2	13,0	34,8	—	—	9,0	28,8
Бензин	85,5	14,5	—	—	0,02	14,8	44,0
Дизтопливо	86,5	13,3	—	0,02	0,2	14,5	41,3
Мазут	85,6	11,3	0,5	0,3	2,3	13,8	40,9
Каменный уголь	80,5	6,0	11,5	1,5	0,5	10,8	32,3

Условная «молекула» имеет вид $C_xH_yO_z$ (для азотсодержащих топлив — $C_xH_yO_zN_g$, для серосодержащих — $C_xH_yO_zN_gS_k$).

Материальный баланс формируется по элементному составу топлива, выражающему относительное массовое содержание отдельных элементов при полном и неполном сгорании топлива. Рабочая масса топлива, содержащего примеси азота, серы, золы, влаги, определяется по формуле

$$w_C + w_H + w_O + w_N + w_S + w_A + w_W = 1. \quad (2.8)$$

Для приведенных в табл. 2.1 топлив содержание в мазуте и каменном угле золы (А) и влаги (W) доходит соответственно до 0,2 и 9% (мазут малосернистый), 10—40 и 4—15% (каменный уголь).

Массовые доли w отдельных элементов в 1 кг топлива $C_xH_yO_z$ находят по известным соотношениям:

$$w_C = 12x / (12x + y + 16z) = 12x / M_T, \quad (2.9)$$

$$w_H = y / (12x + y + 16z) = y / M_T, \quad (2.10)$$

$$w_O = 16z / (12x + y + 16z) = 16z / M_T, \quad (2.11)$$

где M_T — молярная масса «условной» молекулы топлива; $12x, y, 16z$ — масса углерода, водорода, кислорода в молекуле топлива; $w_C + w_H + w_O = 1$.

В большинстве товарных сортов бензина и дизельных топлив наличием кислорода можно пренебречь (условная «молекула» топлива C_xH_y , $M_T = 12x + y$).

Смесь газовых топлив состава $\Sigma C_xH_yO_z + N_2$ с объемной (молярной) долей каждого газа (ϕ) имеет следующий элементный состав для 1 кмоль (1 м³):

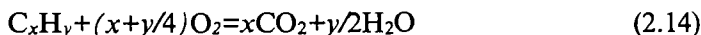
молярная масса смеси газов

$$M_T = \Sigma (M_{C_xH_yO_z})_i \phi_i + 28r_{N_2}; \quad \Sigma \phi_i + \phi_{N_2} = 1 \quad (2.12)$$

и массовые доли газов

$$w_C = 12 \Sigma x_i \phi_i / M_T; \quad w_H = \Sigma y_i \phi_i / M_T; \quad w_O = 16 \Sigma z_i \phi_i / M_T. \quad (2.13)$$

Полное окисление топлива. Соотношение между количеством исходных продуктов (топливо плюс воздух) и продуктов сгорания определяется из уравнений химической реакции при следующих допущениях: все химические соединения состоят из атомов отдельных элементов, связанных между собой в определенных числовых соотношениях; при химических реакциях атомы сохраняют свою индивидуальность и происходит только их перегруппировка. Полное окисление (сгорание) молекулы C_xH_y до конечных продуктов (диоксида углерода CO_2 и водяного пара H_2O) описывается уравнением (исходные и конечные продукты реакции даны в киломолях)



x атомов С в 1 кмоль C_xH_y дают x кмоль CO_2 , $N_{CO_2} = x$;

y атомов Н в 1 кмоль C_xH_y дают $y/2$ кмоль H_2O , $N_{H_2O} = y/2$.

Состав продуктов сгорания в пересчете на 1 кг топлива ($1/M_T$ кмоль) будет:

$$N_{CO_2} = x/M_T = x/(12x + y), \quad N_{H_2O} = (y/2)/M_T = (y/2)/(12x + y)$$

и через элементный состав с учетом уравнений (2.9)—(2.11)

$$N_{CO_2} = w_C / 12, \quad N_{H_2O} = w_H / 2.$$

В реакции участвует $x + y/4$ кмоль O_2 , $N_{O_2} = x + y/4$.

Если в состав топлива входит кислород ($C_xH_yO_z$), то правая часть уравнения (2.14) останется неизменной, а необходимое для сгорания количество кислорода воздуха (кмоль) уменьшается соответственно на $z/2$, $N_{O_2}=x+y/4-z/2$. Количество кислорода (кмоль), необходимое для полного сгорания топлива и определяемое на основании уравнения (2.14), называют *стехиометрическим*.

Стехиометрическое количество N_{O_2} равно:
количество (кмоль) O_2 на 1 кмоль топлива:

$$N_{O_2}=x+y/4=\frac{w_c}{12}M_T+\frac{w_H}{4}M_T,$$

количество (кмоль) O_2 на 1 кг топлива:

$$L'_0=N_{O_2}/M_m=(x+y/4)/(12x+y)=\frac{w_c}{12}+\frac{w_H}{4},$$

масса (кг) O_2 на 1 кг топлива:

$$L'_0=L'_0M_{O_2}=(32x+8y)/(12x+y)=\frac{8}{3}w_c+8w_H.$$

Теплота сгорания топлива H_u (МДж/кг топлива), т. е. тепловой эффект реакций, идущих с образованием CO_2 и H_2O , определяется по формуле Д. И. Менделеева

$$H_u=34,013w_c+125,6w_H-10,9(w_o-w_s)-2,512w_w. \quad (2.15)$$

Масса кислорода, потребляемая из атмосферы для полного сгорания топлива (кг/кг топлива),

$$m_{O_2}=0,23\alpha l_0, \quad (2.16)$$

где l_0 — *стехиометрическое число*. Принимая объемную долю кислорода в воздухе 21% и массовую 23,2%, найдем стехиометрическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания топлива:

количество (кмоль) воздуха на 1 кг топлива:

$$L_0=L'_0/0,21=\frac{1}{0,21}(x+y/4)/(12x+y)=\frac{1}{0,21}\left(\frac{w_c}{12}+\frac{w_H}{4}\right),$$

масса (кг) воздуха на 1 кг топлива:

$$l_0=l'_0/0,232=138(x+y/4)/(12x+y)=138\left(\frac{w_c}{12}+\frac{w_H}{4}\right).$$

Для газовых топлив, представляющих смесь углеводородов состава $\sum C_xH_yO_z$ с объемной долей φ_i углеводорода, L_0 $\left(\frac{\text{кмоль (м}^3\text{)воздуха}}{\text{кмоль (м}^3\text{)топлива}}\right)$:

$$L_0=\sum (x+y-z/2)\varphi_i/0,21. \quad (2.17)$$

В формуле (2.16) α — коэффициент избытка воздуха — отношение количества воздуха, содержащегося в топливо-воздушной смеси G_v к его минимальному количеству, которое теоретически необходимо для полного сгорания всего находящегося в ней топлива G_T :

$$\alpha = G_v / (G_T l_0), \quad (2.18)$$

где G_T — часовой расход топлива, кг/ч; $G_T l_0$ — минимальное, теоретически необходимое для полного сгорания топлива количество воздуха, кг/ч. Если $\alpha=1$, то смесь стехиометрического (теоретического) состава; $\alpha>1,0$, — смесь бедная; $\alpha<1,0$, — смесь богатая. Для дизелей $\alpha=1,4$ —2,2 (номинальный режим) и 4—5 — холостой ход; карбюраторных ДВС $\alpha=0,8$ —1,2.

В табл. 2.2 приведены данные о потреблении кислорода и выделении диоксида углерода, паров воды в результате полного сгорания топлив.

Т а б л и ц а 2.2. Объемы потребления кислорода воздуха и выделения различных веществ при полном сгорании 1 кг топлива, кг

Топливо	Потребление O_2	Выход веществ в результате сгорания		
		H_2O	N_2	CO_2
Водород	7,94	8,94	26,41	—
Сжатый природный газ	3,13	2,25	13,28	2,8
Сжиженный нефтяной газ	3,47	1,59	12,0	3,0
Метанол	1,5	1,13	4,98	1,37
Диметилэфир	1,92	1,08	—	1,84
Бензин	3,04	1,46	11,74	3,1
Дизтопливо	3,34	1,29	11,39	3,16
Мазут	3,17	0,78	10,4	3,5
Каменный уголь	2,48	—	8,86	3,0

В результате полного сгорания топлива потребляется 1,5—7,9 кг кислорода воздуха, а выделение CO_2 (для используемых в настоящее время топлив) составляет порядка 3 кг, воды — 0,8—2,3 кг, азота — 10,4—13,3 кг.

Неполное окисление. Если количество кислорода будет меньше стехиометрического, то окисление будет неполным: часть углерода окислится лишь до CO , а часть водорода не сгорит вообще. Окисление углеводородной молекулы C_xH_y идет по уравнению

$$C_xH_y + \left[\frac{w}{2}x + (1-w)x + y(1-w_1)/4 \right] O_2 = \\ = wxCO + (1-w)xCO_2 + \frac{y}{2}w_1H_2 + \frac{y}{2}(1-w_1)H_2O, \quad (2.19)$$

где w — массовая доля углерода, окислившегося до CO ; w_1 — массовая доля несгоревшего водорода.

В продуктах сгорания появляется несгоревший водород (N_{H_2}) и оксид углерода (N_{CO}). Тогда

$$N_{\text{CO}} + N_{\text{CO}_2} = x; N_{\text{H}_2} + N_{\text{H}_2\text{O}} = y/2.$$

На 1 кг топлива (кмоль):

$$N_{\text{CO}} + N_{\text{CO}_2} = wC/12; N_{\text{H}_2} + N_{\text{H}_2\text{O}} = w_{\text{H}}/2.$$

С уменьшением количества кислорода в продуктах сгорания будет увеличиваться содержание CO и H_2 и уменьшаться содержание H_2O и CO_2 . При $w_1 = w = 1$ в продуктах сгорания будут содержаться только CO и несгоревший водород H_2 . Соответствующее уравнение окисления имеет вид



Количество кислорода (кмоль) $N_{\text{O}_2} = x/2$ соответствует условию, когда число атомов углерода равно числу атомов кислорода, т. е. $\text{C/O} = 1$. При дальнейшем уменьшении содержания кислорода ($\text{C/O} > 1$) в продуктах сгорания появляется несгоревший углерод (сажа).

Величина выбросов загрязняющих веществ зависит не только от вида топлива, но и физико-химических механизмов образования их в цилиндре двигателя.

2.2.2. Механизмы горения углеводородных топлив

Процессы горения широко распространены в практической деятельности человека и лежат в основе современной энергетики, транспорта и промышленного производства. В то же время они стали основными загрязнителями окружающей среды токсичными и вредными веществами.

Для понимания механизмов образования загрязнений в двигателях, других устройствах, использующих процессы горения, необходимо вернуться к основам теории горения, кинетики образования и трансформации вредных веществ. При сгорании топлив имеют место гомогенные или гетерогенные реакции.

Гомогенные процессы происходят с веществами, находящимися в одной фазе, например, в газовой, если в качестве топлива используется природный или попутный газ, пары жидкого топлива или продукты возгонки твердого топлива, а в качестве окислителя — кислород воздуха.

Гетерогенное горение происходит на поверхности твердого или жидкого топлива и состоит из двух стадий: подвода окислителя к

поверхности и химической реакции на ней. В транспортных двигателях получили распространение процессы ламинарного и турбулентного гомогенного горения (рис. 2.4).

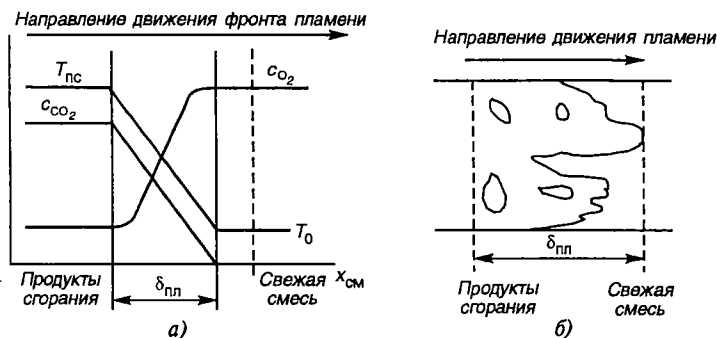


Рис. 2.4. Фронт пламени при ламинарном (а) и турбулентном (б) горении [10]

Ламинарное горение образуется при распространении фронта пламени по неподвижной или ламинарно движущейся горючей смеси. Фронт пламени представляет собой узкую зону толщиной до 1 мм ($\delta_{пл}$), отделяющую свежую смесь от продуктов сгорания (рис. 2.4, а), в которой температура меняется практически линейно за счет конвективного теплообмена (теплового распространения пламени) путем прогрева свежей смеси от температуры T_0 до температуры продуктов сгорания $T_{пс}$. Под воздействием излучения пламени перед фронтом в свежей смеси протекают фотохимические предпламенные процессы (на расстоянии до 5 мм от фронта) с образованием H_2 , CO , CO_2 , H_2O и т. д.

При турбулентном движении горючей смеси крупные пульсации искривляют фронт пламени, разрывают его (рис. 2.4, б). Толщина фронта при атмосферном давлении значительно больше, чем у ламинарного (20—25 мм). Скорость турбулентного горения зависит от интенсивности и масштабов турбулентности смеси.

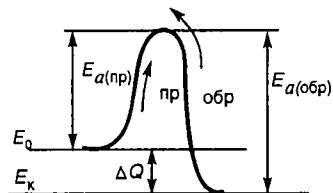


Рис. 2.5. Энергия активации E_a и тепловой эффект прямой и обратной реакции

Отличительной особенностью физических и химических закономерностей процесса горения является наличие большого результирующего экзотермического эффекта химических реакций и температуры, определяющей скорости этих реакций. Ход химической реакции

при изменении энергии молекулы от начального E_0 до конечного E_k значений возможен, когда молекула имеет энергию, большую E_0 (рис. 2.5). Если $E_0 > E_k$, то в результате реакции выделяется теплота ΔQ (экзотермическая реакция), иначе реакция сопровождается поглощением теплоты (эндотермическая). В принципе любая реакция может идти в обоих направлениях. На схеме для обратной реакции $E_{a(\text{обр})}$ — энергия активации, а ΔQ — эндотермический эффект.

Скорость основных химических реакций в процессе горения v_x зависит от концентраций топлива c_τ^n , окислителя c_o^m , а также константы скорости i -й химической реакции k_{c_i} и определяется по формуле Аррениуса

$$v_{x_i} = k_{c_i} c_\tau^n c_o^m, \quad (2.21)$$

где n, m — показатели порядка реакции по соответствующим компонентам.

Константа скорости химической реакции определяется по формуле

$$k_c = k_0 \exp[-E_a / (RT)], \quad (2.22)$$

где k_0 — предэкспотенциальный множитель; R — универсальная газовая постоянная; $\exp[-E_a / (RT)]$ — множитель, характеризующий долю молекул, обладающих энергией большей, чем энергия активации E_a при температуре T . Чем больше энергия активации, тем сильнее зависимость множителя от температуры, поэтому горение можно определить как химическую реакцию с экзотермическим эффектом и высоким значением энергии активации.

При осуществлении химической реакции концентрации исходных компонентов обычно уменьшаются, а продуктов сгорания — увеличиваются. Поэтому наступает момент, когда скорости прямой и обратной реакций становятся одинаковыми — наступает *состояние химического равновесия*. Поскольку обычно энергии активации прямой и обратной реакций различны, то с изменением температуры скорости прямой и обратной реакций изменяются в различной степени, а следовательно, изменяются и равновесные концентрации. При низких температурах равновесие может быть вообще не достигнуто, сгорание будет неполным, образуются продукты неполного сгорания в составе отработавших газов, которые при выбросе загрязняют окружающую среду. Обычно в горелочных устройствах полного сгорания топлива не происходит и кроме CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 , SO_2 в отработавших газах присутствуют продукты неполного сгорания твердые частицы (С) и другие токсичные вещества (всего более 280 наименований).

Рассмотрим подробнее механизмы образования в тепловых двигателях основных загрязняющих веществ.

2.2.3. Образование токсичных веществ при горении

В камерах сгорания тепловых двигателей на механизм образования продуктов неполного сгорания и характер побочных реакций, протекающих при горении, влияет структура фронта пламени. На рис. 2.6, а приведена структура фронта диффузионного пламени (камера сгорания дизеля), а на рис. 2.6, б — структура фронта пламени, распространяющегося по гомогенной смеси (двигатели с внешним смесеобразованием) [11].

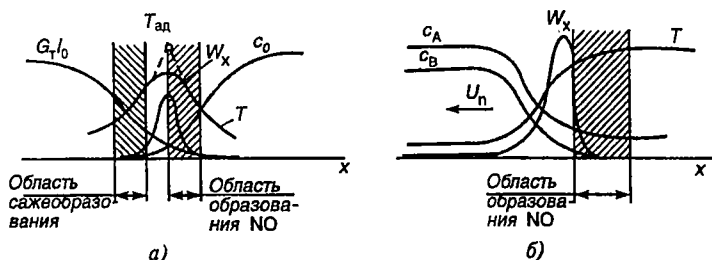


Рис. 2.6. Структура фронта диффузионного пламени (а) и фронта пламени, распространяющегося по гомогенной смеси (б):

W_x — скорость химической реакции смеси

В диффузионном пламени топливо и окислитель диффундируют во фронт пламени, где в узкой области смешения протекает химическая реакция и достигается максимальная температура. К этой области примыкает со стороны топлива область его термического распада, в которой в отсутствие окислителя образуются наряду с промежуточными продуктами распада водород и сажа. Водород, диффундируя во фронт пламени, сгорает, а частицы сажи увеличиваются за счет распада на их поверхности углеводородов и коагуляции отдельных сажевых частиц при их диффузии и выгорают во фронте пламени со значительно меньшей скоростью. Часть сажевых частиц диффундирует в сторону топлива. Со стороны окислителя к фронту пламени примыкает область образования NO, который диффундирует в обе стороны. При диффузии в сторону фронта пламени NO разлагается с высокой скоростью при температуре пламени в области, ограниченной содержанием в смеси кислорода. При диффузии от фронта пламени NO также разлагается, но по мере снижения T происходит закалка, т. е. концентрация перестает изменяться при уменьшении равновесного значения концентрации NO.

В пламени, распространяющемся по гомогенной смеси в двигателях с внешним смесеобразованием (см. рис. 2.6, б), полнота сгорания зависит в первую очередь от состава смеси. Если избыточным компонентом (по сравнению со стехиометрическим составом) является топ-

ливо ($\alpha < 1$), то имеет место неполнота его окисления (например, до CO), а если избыточным компонентом является окислитель ($\alpha > 1$), то более интенсивными будут реакции образования NO. Однако благоприятные для образования NO условия ограничены ($\alpha = 1,05$), и при росте избытка окислителя из-за снижения температуры концентрация оксидов азота в продуктах сгорания уменьшается.

Если температура в области горения гетерогенной смеси невысока, теплоты, подводимой в зону распада углеводородов, может не хватить для обеспечения их распада до конечных продуктов. Температура при этом будет падать, эндотермический процесс — самотормозиться. В результате в продуктах сгорания будут присутствовать несгоревшие углеводороды испарившегося топлива. Причиной падения температуры являются также охлаждение смеси в пристеночной зоне.

На рис. 2.7 приведена принципиальная схема расположения мест образования токсичных веществ в камере сгорания ДВС с искровым зажиганием.

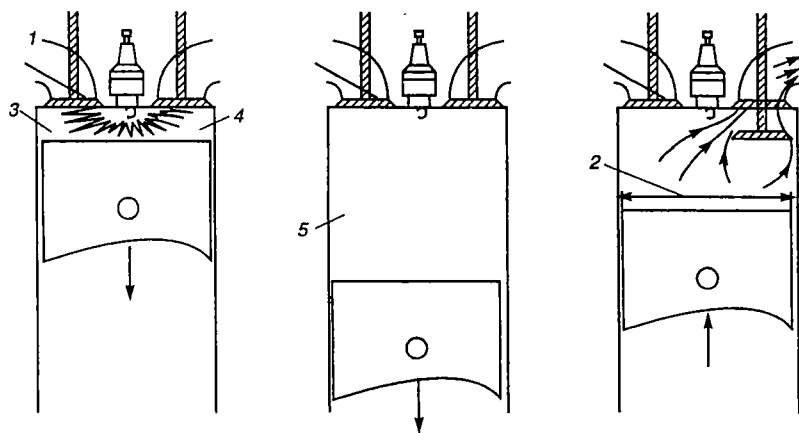


Рис. 2.7. Схема образования токсичных веществ в автомобильном двигателе:

1 — образование NO при высокотемпературном окислении азота воздуха; 2 — «соскабливание» со стенок масляной пленки (образование углеводородов и твердых частиц); 3 — гашение пламени в окрестностях стенок цилиндра (образование углеводородов); 4 — образование локальных «переобогащенных» зон в камере сгорания (образование CO); 5 — «замораживание» реакций образования NO и CO при расширении

Схема применима и для дизелей, только зоны образования NO_x , зародышей сажи не могут фиксированно привязываться по месту и времени в камере сгорания.

Типичное содержание различных веществ в отработавших газах двигателей приведено в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2.3. Состав отработавших газов двигателей

Вещество	Объемная доля, %	
	Бензиновый	Дизель
O ₂	0,05—8,0	2,0—18,0
CO ₂	5—12,5	1—12
H ₂ O	3—13	0,5—10
N ₂	74—77	76—78
NO _x	0,05—0,5	0,1—1,0
CO	0,1—10	0,01—0,5
C _x H _y	0,2—2,0	0,01—0,5
Альдегиды	0—0,2	0—0,05
Сажа	До 100*	До 20 000*
SO _x	0,003*	0,015*
Бенз(α)пирен, мкг/м ³	25	10

* мг/м³.

Вредные и токсичные вещества, содержащиеся в отработавших газах двигателей, в зависимости от механизма их образования можно разделить на группы:

а) углеродсодержащие вещества — продукты полного и неполного сгорания топлив (CO₂, CO, углеводороды, в том числе полициклические ароматические, сажа);

б) вещества, механизм образования которых непосредственно не связан с процессом сгорания топлива (оксиды азота — по термическому механизму);

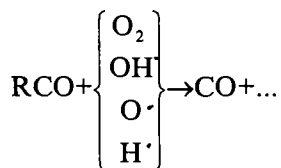
в) вещества, выброс которых связан с примесями, содержащимися в топливе (соединения серы, свинца, других тяжелых металлов), воздухе (кварцевая пыль, аэрозоли), а также образующимися в процессе износа деталей (оксиды металлов).

Рассмотрим подробнее механизмы образования тех из веществ, содержание которых в отработавших газах двигателей нормируется или предполагается нормировать в будущем.

Моноксид углерода CO — образуется в ходе предпламенных реакций, при сгорании углеводородного топлива с некоторым недостатком воздуха, а также при диссоциации CO₂ (при температурах более 2000 К). Образование CO является одним из принципиально возможных направлений реакций в механизме горения (окисления) углеводородов, которое можно представить как



Реакция радикала RCO, приводящая к образованию CO, может протекать в результате одновременного взаимодействия с четырьмя компонентами:



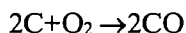
что типично для бензиновых карбюраторных двигателей.

В дизелях, работающих при $\alpha > 1$, вероятность указанных превращений во фронте пламени мала и в отработавших газах содержится меньше CO, но в цилиндрах находятся дополнительные источники его появления:

— низкотемпературные участки пламени стадии воспламенения топлива;

— капли топлива, поступающие в камеру на поздних стадиях впрыска и сгорающие в диффузионном пламени при недостатке кислорода;

— частицы сажи, образовавшейся в период распространения турбулентного пламени по гетерогенному заряду, в котором при общем избытке кислорода могут создаваться зоны с его дефицитом и осуществляться реакции типа



Диоксид углерода CO₂ является не токсичным, но вредным веществом в связи с фиксируемым повышением его концентрации в атмосфере планеты и его влиянием на изменение климата (см. гл. 5). Предпринимаются шаги по регламентированию его выброса объектами энергетики, промышленности и транспорта.

Основная доля образовавшихся в камере сгорания CO окисляется до CO₂, не выходя за пределы камеры, ибо замеренная объемная доля диоксида углерода в отработавших газах составляет 10—15%, т. е. в 300—450 раз больше, чем в атмосферном воздухе. Наибольший вклад в образование CO₂ вносит реакция



которая является необратимой. Окисление CO в CO₂ происходит в выпускной трубе, а также в нейтрализаторах (дожигателях) отработавших газов, которые устанавливаются на современных автомобилях для принудительного окисления CO и несгоревших углеводородов до CO₂ в связи с необходимостью выполнения норм токсичности.

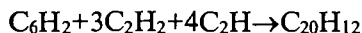
Величина выбросов CO_2 зависит от физико-химических и теплофизических свойств топлив (см. табл. 2.2) и их расхода. При использовании в качестве моторного топлива водорода в продуктах сгорания CO_2 отсутствует.

Углеводороды C_xH_y — несколько десятков наименований веществ, образующихся в результате:

— реакций цепочно-теплового взрыва — пиролиза и синтеза (*полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)*, альдегиды, фенолы);

— неполноты сгорания в результате нарушения процесса горения (из-за прекращения реакций окисления углеводородов при низких температурах, неоднородности топливо-воздушной смеси, пропусков зажигания в отдельных циклах или цилиндрах двигателя (несгоревшие компоненты топлива и масла).

Наиболее токсичны из углеводородов ПАУ. Максимальный уровень токсичности (агрессивность×концентрация) имеет бенз(α)пирен $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$. Гипотетическая реакция образования $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ при пиролизе углеводородных топлив при температуре более 873 К может быть записана в виде:



где C_6H_2 — полирадикал, представляющий зародыш сажи; C_2H_2 , C_2H — элементные строительные блоки. Бенз(α)пирен образуется одновременно с сажой по сходному механизму, который рассматривается ниже.

Твердые частицы включают *нерастворимые* (твердый углерод, оксиды металлов, диоксид кремния, сульфаты, нитраты, асфальты, соединения свинца) и *растворимые в органическом растворителе* (смолы, фенолы, альдегиды, лак, нагар, тяжелые фракции, содержащиеся в топливе и масле) вещества.

Твердые частицы в отработавших газах дизелей с наддувом состоят на 68—75% из нерастворимых веществ, на 25—32% — из растворимых.

Сажа (твердый углерод) является основным компонентом нерастворимых твердых частиц. Образуется при объемном пиролизе (термическом разложении углеводородов в газовой или паровой фазе при недостатке кислорода). Механизм образования включает несколько стадий:

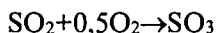
- образование зародышей;
- рост зародышей до первичных частиц (шестиугольных пластинок графита);
- увеличение размеров частиц (коагуляция) до сложных образований — конгломератов, включающих 100—150 атомов углерода;
- выгорание.

Выделение сажи из пламени происходит при $\alpha=0,33-0,7$. В отрегулированных двигателях с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием (бензиновых, газовых) вероятность появления таких зон незначительна. У дизелей локальные переобогащенные топливом зоны образуются чаще и в полной мере реализуются перечисленные процессы сажеобразования. Поэтому выбросы сажи с отработавшими газами у дизелей больше, чем у двигателей с искровым зажиганием. Образование сажи зависит от свойств топлива: чем больше отношение C/H в топливе, тем выход сажи выше.

Важный процесс, определяющий уровень эмиссии сажи при горении, — ее выгорание в высокотемпературном турбулентном газовом потоке при температуре 850—920 К. В процессе выгорания являются значимыми диффузия и сорбция на поверхности конгломератов сажи твердых иглообразных образований ПАУ, что относится к классу опасных загрязнителей.

В состав твердых частиц кроме сажи входят соединения серы, свинца.

Сера, содержащаяся в моторном топливе, во время горения интенсивно окисляется в SO_2 по механизму, схожему с механизмом образования CO. Диоксид серы может окисляться (с существенно меньшей скоростью) до SO_3 по уравнению:



Далее происходит реакция SO_3 с парами воды, приводящая к образованию H_2SO_4 , которая протекает на стенках при температуре ниже 815 К.

Свинец в составе твердых частиц (из-за использования этилированных бензинов) присутствует в виде соединений галогенидов свинца, которые образуются по сходному механизму образования сажи.

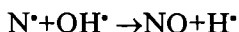
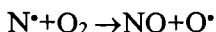
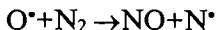
Оксиды азота NO_x представляют набор следующих соединений: N_2O , NO, N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 и N_2O_5 . Преобладает NO (99% в бензиновых двигателях и более 90% в дизелях).

В камере сгорания NO может образовываться:

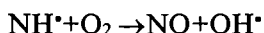
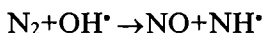
- 1) при высокотемпературном окислении азота воздуха (*термический NO*);
- 2) в результате низкотемпературного окисления азотсодержащих соединений топлива (*топливный NO*);
- 3) из-за столкновения углеводородных радикалов с молекулами азота в зоне реакций горения при наличии пульсаций температуры (*быстрый NO*).

В камерах сгорания доминирует термический NO, образующийся из молекулярного азота во время горения бедной топливо-воздушной смеси и смеси, близкой к стехиометрической, за фронтом

пламени в зоне продуктов сгорания. Преимущественно при сгорании бедных и умеренно богатых смесей ($\alpha > 0,8$) реакции происходят по цепному механизму:



В богатых смесях ($\alpha < 0,8$) осуществляются также реакции



В бедных смесях выход NO определяется максимальной температурой цепочно-теплого взрыва (максимальная температура 2800—2900 К), т. е. кинетикой образования. В богатых смесях выход NO перестает зависеть от максимальной температуры взрыва и определяется кинетикой разложения. При горении бедных смесей значительно влияние на образование NO оказывает неравномерность температурного поля в зоне продуктов сгорания и присутствие паров воды, которая в цепной реакции окисления N_2 является ингибитором.

Высокая интенсивность процесса нагревания, а затем охлаждения смеси газов в цилиндре ДВС приводит к образованию существенно неравновесных концентраций реагирующих веществ. Происходит как бы замораживание (закалка) образовавшегося NO на уровне максимальной концентрации, который обнаруживается в выпускных газах из-за резкого замедления скорости разложения NO. Азотсодержащие составляющие топлива (амины, циклические соединения в виде пиридина, карбазола) являются важными источниками образования топливного NO уже при температурах 1300—1400 К, так как на это требуется энергии меньше, чем на разрушение связей молекулярного азота. Эти вещества легче вступают в реакцию окисления, чем атмосферный азот.

Таким образом, в процессах горения топлив в топочных устройствах оксиды азота могут образовываться в зависимости от температуры по трем механизмам (рис. 2.8).

Можно выделить четыре характерные зоны [10]:

I (до $T < 850$ К, каталитическое окисление топлива) — NO не образуется;

II (до $T < 1500$ К, горение в псевдоожигенном слое твердого топлива) — образуется преимущественно топливный NO;

III (факельное горение в топках котлов) — до $T < 2000$ К образуется NO по всем трем механизмам, а при более высоких температурах основной компонент — термический NO;

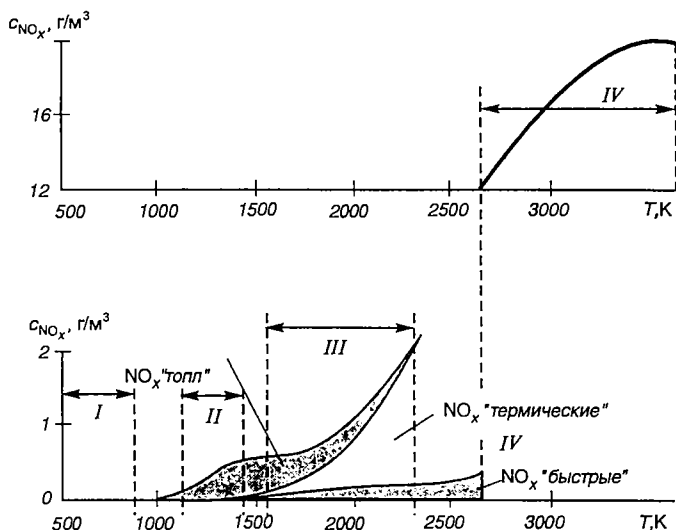


Рис. 2.8. Вклад отдельных механизмов образования NO в его общий выход [10]

IV ($T=2800\text{—}3200$ К, МГД-генераторы) — следует ожидать максимального выхода термических оксидов азота, концентрация которых будет на порядок больше, чем в существующих энергоблоках ($1\text{—}1,5$ г/м³).

2.3. Испарение топлива, других эксплуатационных материалов

Источником загрязнения окружающей среды являются процессы испарения, которые широко распространены в транспортных системах.

Испарение — парообразование с поверхности, протекающее при любых температурах и, как правило, одновременно с процессом теплообмена.

При испарении с поверхности различают испарение со свободной поверхности жидкости (испарение топлива при хранении и транспортировке, из топливного бака) и испарение тонких пленок, капель жидкости (топлив, лакокрасочных материалов, растворителей) с поверхности деталей, узлов, агрегатов, конструкций инженерных сооружений и дорожных покрытий. Испарение жидкости со свободной поверхности представляет сочетание двух процессов: «вырывания» молекул с поверхности с образованием слоя насыщенных паров и диффузии паров из этого слоя в окружающую среду.

Д и ф ф у з и я — процесс переноса вещества (компонента смеси) из области с большей его концентрацией в область с меньшей концентрацией.

Образование насыщенного слоя паров определяется молекулярно-кинетическими параметрами вещества (*кинетическое испарение*) или скоростью распространения паров в окружающей среде — *диффузионное испарение*. По мере того, как часть вещества диффундирует, происходит испарение соответствующего количества жидкости.

Кинетическое испарение является лимитирующим при оценке суммарной скорости испарения, когда его скорость обусловлена только скоростью «отрыва» молекул от поверхности (например, при испарении в вакуум или при сильном обдуве мелких капель). Иначе, лимитирующим является диффузионное испарение (характерно для поршневых ДВС), скорость которого определяется особенностью процессов тепломассопереноса между поверхностью испарения и окружающей средой.

Процесс выделения загрязняющих веществ (паров топлива, лакокрасочных материалов, растворителей, кислот) при испарении может быть вызван разностью температур (термодиффузия), давлений (бародиффузия), концентраций (градиентная диффузия) и др.

Закономерности молекулярного переноса при испарении вещества с открытой поверхности в окружающую среду (из топливного бака или поплавковой камеры) описываются законом Фика, который связывает удельный поток молекул вещества (в паровой фазе) j с градиентом его концентрации c :

$$j = -D \operatorname{grad} c, \quad (2.23)$$

где D — коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$.

Коэффициент диффузии — масса компонента, переносимая в единицу времени через единицу поверхности при единичном градиенте концентрации данного компонента. Он увеличивается с ростом температуры и уменьшается с ростом давления:

$$D = D_0 (T/T_0)^n (p_0/p), \quad (2.24)$$

где D_0 — коэффициент диффузии при температуре ($T_0 = 273 \text{ К}$) и давлении ($p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$) окружающей среды; $n = 1,75 - 2,0$ — показатель степени.

Коэффициент диффузии может быть задан лишь по отношению к определенной среде. В отличие от переноса теплоты диффузия максимальна в газах (табл. 2.4) и минимальна — в твердых телах ($D = 10^{-12} - 10^{-14} \text{ м}^2/\text{с}$). В жидкостях $D = (1 - 3) 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

**Т а б л и ц а 2.4. Значения коэффициента диффузии
различных газов и паров в воздухе [12]**

Вещество	$D_{г\text{-}10^{-5}}$	n
Кислород O_2	1,78	1,75
Диоксид углерода CO_2	1,38	2,0
Водород H_2	6,34	2,0
Вода H_2O	2,2	1,75
Метан CH_4	1,96	2,0
Бутан C_4H_{10}	0,75	2,0
<i>n</i> -Октан C_8H_{18}	0,505	2,0
Метиловый спирт CH_3OH	1,325	2,0
Этиловый спирт C_2H_5OH	1,02	2,0
Бензол C_6H_6	7,7	2,0

Для смесей и паров топлив, которые можно рассматривать как идеальные газы, коэффициент диффузии подчиняется закону аддитивности. Коэффициент диффузии паров углеводородов уменьшается с ростом их молярной массы.

Процессы испарения жидкостей активно используются на всех этапах жизненных циклов (ЖЦ) объектов транспорта. Они играют заметную роль в выделении газообразных загрязняющих веществ в атмосферу и водную среду (при нанесении покрытий электрохимическими способами, мойке, окраске, сушке заготовок, при производстве деталей и ремонте техники, в процессах регулировки топливopодающей аппаратуры).

2.4. Износ поверхностей

И з н о с — относительно равномерное по площади уменьшение толщины покрытий, деталей и т. д., происходящее в результате трения. Является причиной загрязнения воздуха, воды, почвы *минеральной пылью* (с дорожных одежд и внесенной с колесами автомобиля на проезжую часть грязи, в результате эрозии почвы с неукрепленных откосов), *резиновой крошкой, частицами металлов* (свинца, меди, цинка, кадмия, никеля), *асбестосодержащими частицами* фрикционных материалов, используемых в объектах транспорта (диски сцепления, тормозные накладки).

Наибольший объем выделения минеральной пыли связан с износом покрытий дорожных одежд (щебеночных, гравийных) — в результате выбивания колесами автомобиля из покрытия отдельных щебенков в сухой период года, сметания мелких частиц с покрытий ветром и воздушными вихрями при движении транспортных средств или смывания их водой. Для усовершенствованных покрытий наиболее характерен износ от истирания их поверхности шинами.

В связи с продольными и поперечными колебаниями при движении транспортного средства давление колес на покрытие то возрастает, то уменьшается. В момент разгрузки колес тяговое усилие может превышать сцепление колес с покрытием и происходит кратковременное пробуксовывание, которое гасится при последующем нажиме колеса. Проскальзывание отдельных участков шины происходит и при качении колеса без колебаний при изменении линейной скорости беговой части шины — переходе от зоны контакта к участку свободного вращения. У ведущих колес при передаче вращающего момента участки шины, подходящие к зоне контакта с покрытием, сжимаются, так как трение протектора о покрытие тормозит движение шины, а вышедшие из контакта участки растягиваются. В задней части отпечатка происходит интенсивное проскальзывание шины. При этом впавшие в протектор песчинки и частицы пыли действуют как абразив, истирающий покрытие. Износ протектора шины и поверхности дороги происходит одновременно.

Различают три основных вида износа протекторных резин: усталостный (гистерезисный или механохимический), абразивный, посредством «скатывания».

При *усталостном износе* разрушение поверхностного слоя резины происходит после многократных деформаций его мелкими неровностями (выступами) на поверхности качения.

Абразивный износ происходит из-за повышения температуры при трении двух поверхностей и проявляется в образовании на поверхности протектора разрывов и трещин в результате резкого и длительного торможения или разгона автомобиля, при движении с большими скоростями на поворотах.

При «*скатывании*» образуется система параллельных чередующихся гребней и впадин, расположенных перпендикулярно направлению истирания при определенных сочетаниях внешних условий торможения и свойств резины. Обычно истирание протекторных резин происходит по смешанному механизму износа.

На интенсивность износа влияют следующие факторы: конструкция шины, рисунок протектора, состав резины, скорость движения, техническое состояние автомобиля, нагрузка на колесо, давление воздуха в шине, температура воздуха и шины, стиль и мастерство вождения. На малосвязанных покрытиях проскальзывающие участки шины могут выдергивать из покрытия отдельные щебенки. И тогда щебенки, отбрасываемые колесами автомобилей, разбивают ветровые стекла следующих за ними транспортных средств. Износ дорожных покрытий зависит от прочности каменного материала, тщательности выполнения строительных работ, своевременности проведения текущих ремонтов, типа транспортных средств, степени использования грузоподъемности, скорости движе-

ния и типа шин. Износ и разрушение дорожных покрытий является главным источником загрязнения водного стока.

Кроме продуктов износа и разрушения дорожных покрытий, резиновой пыли и частиц фрикционных материалов, используемых в транспортных средствах (накладки тормозов, дисков сцепления), источниками загрязнений являются:

— ветровые и водные наносы грунтовых частиц (пыли) в результате эрозии открытых грунтов при сооружении земляного полотна;

— частицы износа фрикционных материалов для борьбы с зимней скользкостью.

Фрикционные материалы для борьбы с зимней скользкостью покрытий дорог используются во время гололедицы, когда после кратковременного повышения температуры воздуха до $0 - +2^{\circ}\text{C}$ и возрастания его влажности наступает быстрое похолодание и на поверхности дороги, продолжающей сохранять отрицательную температуру, образуется пленка льда. Коэффициент сцепления колеса с дорогой снижается до $0,06 - 0,1$. В результате резко возрастает тормозной путь и опасность совершения ДТП.

Для повышения коэффициента сцепления (до $0,125 - 0,17$) дороги низших технических категорий посыпают песком, золой, каменноугольным шлаком или мелкими каменными высевками с размером частиц $1 - 6$ мм в количестве $0,1 - 0,2 \text{ м}^3/1000 \text{ м}^2$ поверхности дороги [13], которые затем накапливаются на придорожных территориях. На дорогах более высоких категорий для борьбы с зимней скользкостью используются химические реагенты, которые оказывают существенное негативное воздействие на окружающую среду.

Образовавшиеся в результате износа шин, дорожной поверхности, применения антифрикционных и других материалов загрязнения, собранные машиной при подметании дорожных покрытий, называют *смёт*ом. На рис. 2.9 приведены данные об источниках пылевых загрязнений, которые и составляют смёт с проезжей части дорог [14].

2.5. Отходы промышленно-транспортной деятельности

Под отходами промышленно-транспортной деятельности понимают бытовые, промышленные отходы, а также производственные отходы, возникающие в технологических процессах реализации ЖЦ объектов транспорта, появляющиеся в результате неэффективного использования сырья, материалов. Они загрязняют гидросферу и литосферу, аккумулируются в этих средах и поэтому подлежат утилизации, обеззараживанию, вывозу и переработке.

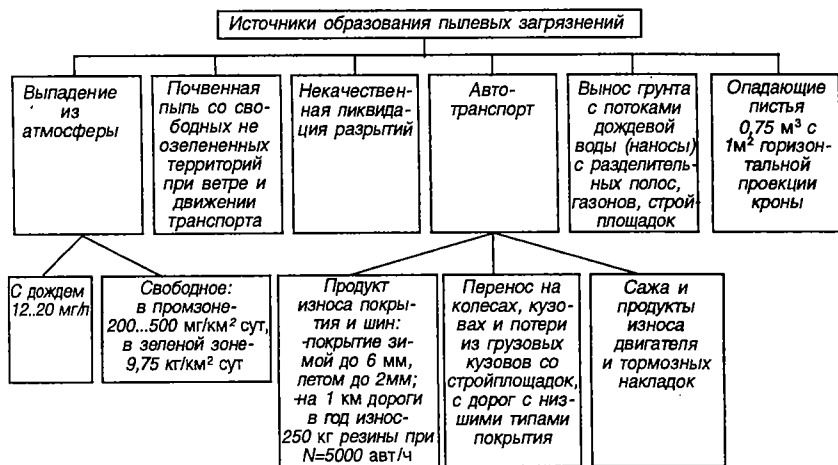


Рис. 2.9. Источники образования пылевых загрязнений на автомагистральных и придорожных территориях

Основными источниками загрязнения окружающей среды являются автотранспортные предприятия, базы дорожно-строительной техники, гаражи, стоянки и другие места хранения и длительной парковки транспортных средств, пункты мойки, топливозаправочные станции, станции технического обслуживания, мастерские и другие предприятия по техническому обслуживанию и ремонту транспортной и дорожно-строительной техники, а также дороги, мосты, автомобильные рынки и магазины.

Основные виды отходов транспортной деятельности: жидкие, сбрасываемые в поверхностные и сточные воды (растворители, нефтепродукты, взвеси, хлориды) и твердые:

- вывозимые для захоронения на полигоны и свалки;
- передаваемые на переработку или захоронение другим предприятиям;
- используемые для собственных нужд.

Жидкие отходы производственной и транспортной деятельности образуются в результате выполнения технологических процессов мойки, очистки деталей, электрохимической обработки материалов, малярных работ и т. д. Они являются основными загрязнителями сточных вод.

Транспортными предприятиями в среднем на единицу подвижного состава приходится по 100 кг сбросов в поверхностные водоемы в год, в том числе сухой остаток — 76, хлориды — 17, сульфаты — 4, взвеси — 1, остальное — 2. Образуется большое количество ила и грязи, содержащих много вредных примесей, в том числе нефтепродукты и тяжелые металлы.

Объемы твердых отходов в технологических процессах ЖЦ объектов транспорта определяются периодичностью проведения регламентных работ, уровнем надежности конструкции, номенклатурой используемого оборудования.

При выполнении операций обслуживания и ремонта техники используются: прокат металлов (прутки круглого и шестигранного сечения, листовая сталь, швеллеры, двутавры и уголки различных размеров, свинец, олово, медь, припой, стальные и латунные трубки); режущий и мерительный инструмент; электротехнические материалы; фрикционные материалы и др.

Значительным является расход конструкционных материалов, приходящихся на запасные части, которые необходимы для восстановления работоспособности узлов и деталей транспортных средств. В результате механической обработки деталей, их замены, а также других видов производственной деятельности на транспортных предприятиях образуются твердые отходы, вывозимые на захоронение на полигоны и свалки, объем которых по данным МАДИ-ТУ составляет порядка 250 кг на один автомобиль в год, в том числе, %: смет — 40, отходы потребления — 19, древесные отходы и макулатура по 16, тормозные накладки — 4, стеклобой — 3, резина, кроме шин — 2.

Объем отходов, передаваемых транспортными предприятиями на дальнейшую обработку другим предприятиям, составляет на единицу подвижного состава порядка 900 кг в год, в том числе, %: лом черных металлов — 38, осадок очистных сооружений — 31, покрышки — 20, масла отработанные — 9, лом аккумуляторных батарей — 2. Часть образующихся твердых отходов используется непосредственно на предприятиях: древесная стружка (используется как адсорбент при уборке разливов нефтепродуктов), серная кислота (сливается из неисправных аккумуляторных батарей, подвергается регенерации и повторно используется).

2.6. Другие физико-химические процессы, возникающие при осуществлении жизненных циклов объектов транспорта

При реализации ЖЦ транспортных объектов, наряду с изложенными, возникают или используются и другие физико-химические процессы взаимодействия с окружающей средой. В их числе процессы: разделения неоднородных систем (инерционного, гравитационного, диффузионного, электростатического осаждения аэрозолей на препятствиях); абсорбции и ионного обмена; перегонки жидкостей; жидкостной экстракции; растворения и экстрагирования в системе твердое тело—жидкость; кристаллизации; сушки; массообмена через мембраны; нейтрализации и др. [15].

2.6.1. Процессы разделения и связывания неоднородных сред

Неоднородные (гетерогенные) системы — это системы, состоящие как минимум из двух фаз. При этом одна из фаз является *сплошной*, а другая — *дисперсной*, распределенной в первой в раздробленном состоянии в виде капель, пузырей, мелких твердых частиц и т. д. В зависимости от физического состояния фаз различают суспензии, эмульсии, пыли, дымы и туманы.

Суспензия состоит из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц. Суспензии условно подразделяются на грубые (с частицами размером более 100 мкм), тонкие (содержащие частицы размером 0,1—100 мкм) и коллоидные растворы (с частицами менее 0,1 мкм).

Эмульсия состоит из жидкости и распределенных в ней капель другой жидкости, не растворяющейся в первой, а *пена* — из жидкости и распределенных в ней пузырьков газа.

Дым и пыль состоят из газа и распределенных в нем твердых частиц размером соответственно до и более 5 мкм. *Туман* состоит из газа и распределенных в нем капель жидкости размером менее 5 мкм. Пыли, дымы и туманы являются аэродисперсными системами и называются *аэрозолями*. Процессы, связанные с разделением неоднородных систем, играют большую роль при подготовке сырья и очистке готовых продуктов, при очистке сточных вод и отходящих газов, а также при выделении из них ценных компонентов. Применяют следующие методы разделения: осаждение, фильтрование и мокрую или сухую очистку газов.

Осаждение — процесс разделения, при котором взвешенные в жидкости или газе твердые или жидкие частицы отделяются от сплошной фазы под действием сил тяжести (отстаивание), центробежной силы (циклонный процесс и центрифугирование), сил инерции, электростатических сил (очистка газов в электрическом поле).

Фильтрование — процесс разделения с помощью пористой перегородки, способной пропускать жидкость или газ, но задерживать взвешенные частицы. Движущей силой процесса фильтрования является разность давлений. В случаях, когда разность давлений создается центробежными силами, процесс называют *центробежным фильтрованием*.

Мокрая или сухая очистка газов — процесс разделения, основанный на улавливании (осаждении) взвешенных в газе частиц жидкостью или твердым (пористым) материалом (ткань, решетка и др.). Улавливание осуществляется, как правило, под действием сил инерции, гравитации, диффузии, электростатического осаждения аэрозолей на препятствиях, вносимых в газовый поток. При бесконечно больших размерах среды и отсутствии инерции сила сопротивления движению жидкости или газа выражается *законом Стокса*:

$$F = -3\pi\eta r \frac{dv}{dt}, \quad (2.25)$$

где η_r — абсолютная вязкость газа; d_χ — диаметр частицы аэрозоля; u_χ — относительная скорость частицы по сравнению со скоростью газа.

Конечная скорость оседания сферической частицы соответствует условию равенства сил тяжести и сопротивления:

$$u_\chi = (\rho_\chi - \rho_r) g d_\chi^2 C' / 18 \eta_r, \quad (2.26)$$

где ρ_χ , ρ_r — плотность частицы и газа соответственно; C' — поправочный коэффициент Каннингхема (течение со скольжением).

На конечные скорости оседания частиц, размеры которых меньше свободного пробега молекул газа, оказывает влияние броуновское движение. Скорость осаждения этих частиц на подстилающие поверхности определяется с учетом процесса диффузии. Зависимость коэффициента диффузии от размера частиц имеет вид:

$$D_\chi = R T C' / (3 \pi \eta_r d_\chi N_A), \quad (2.27)$$

где N_A — постоянная Авогадро; R — универсальная газовая постоянная; T — температура газа.

Частицы аэрозоля могут приобретать электрический заряд в процессе образования, в результате диффузии свободных ионов, под действием коронного разряда. В случае действия электростатической силы и силы сопротивления движению скорость квазистатического движения каждой из частиц определяется по формуле

$$u_\chi = q E C' / (3 \pi \eta_r d_\chi), \quad (2.28)$$

где q — заряд частицы; E — напряженность электрического поля.

Эффективность пылеулавливания характеризуется общим и фракционным показателями степени очистки воздуха от пыли. Общий показатель эффективности пылеулавливания характеризует этот процесс без учета крупности улавливаемой пыли:

$$\eta_0 = m_2 / m_1, \quad (2.29)$$

где m_2 — масса осажденной пыли; m_1 — масса пыли, находящейся в воздушном потоке на входе.

Фракционный показатель эффективности пылеулавливания характеризует процесс улавливания пыли заданной крупности:

$$\eta_\phi = [\alpha_\phi - \beta_\phi (1 - \eta_0)] / \alpha_\phi, \quad (2.30)$$

где α_ϕ — содержание пыли заданной крупности в воздухе до очистки, %; β_ϕ — содержание пыли той же крупности в воздухе после очистки, %.

Увеличению размеров частиц в аэрозоле с целью их дальнейшего улавливания могут способствовать процессы *коагуляции* (слипания, сливания) под действием броуновского движения, грави-

тационных, электрических, гидродинамических, магнитных сил. Тепловая (броуновская) коагуляция и коагуляция аэрозолей с заряженными частицами представляют собой непрерывные самопроизвольные процессы. Скорость исчезновения частиц в результате броуновской коагуляции определяется по уравнению Смолуховского:

$$dn/dt = kn^2 = -4RTC'n^2/(3\eta_r N_A), \quad (2.31)$$

где n — число частиц в единице объема в момент времени t ; k — коэффициент коагуляции.

Выбор метода разделения зависит от концентрации дисперсных частиц, их размера, требований к качеству разделения, а также от разницы плотностей дисперсной и сплошной фаз и вязкости последней.

Составим материальный баланс процессов разделения для случая, когда разделению подвергается система, состоящая из сплошной и дисперсной фаз. При отсутствии потерь вещества в процессе разделения можно записать следующие уравнения материального баланса:

по всему веществу

$$G_{см} = G_{оч} + G_{ос}; \quad (2.32)$$

по диспергированному веществу

$$G_{см}w_{см} = G_{оч}w_{оч} + G_{ос}w_{ос}, \quad (2.33)$$

где $G_{см}$, $G_{оч}$, $G_{ос}$ — массовый расход соответственно исходной смеси, очищенной сплошной фазы и осадка (сгущенной дисперсной фазы), кг/с; $w_{см}$, $w_{оч}$, $w_{ос}$ — массовая доля дисперсной фазы соответственно в исходной смеси, в очищенной сплошной фазе и в осадке, %.

Если известны расход исходной смеси и массовые доли, то в результате решения уравнений (2.32) и (2.33) можно найти расходы $G_{оч}$ и $G_{ос}$:

$$G_{оч} = G_{см}(w_{ос} - w_{см}) / (w_{ос} - w_{оч});$$

$$G_{ос} = G_{см}(w_{см} - w_{оч}) / (w_{ос} - w_{оч}).$$

Полученные уравнения в записанной форме применимы к осаждению и фильтрованию.

А б с о р б ц и я — процесс поглощения газов или паров из газовых или парогазовых смесей жидким поглотителем — *абсорбентом*. Для абсорбции газа используют жидкие растворители (воду с добавками химических веществ), которые реагируют с вредными веществами в газовом потоке при разных способах контакта между газовой и жидкой фазами. Газы, растворимость которых при 273 К и парциальном давлении 101 кПа составляют сотни граммов на 1 кг воды, — хорошо растворимые (HCl, HF, NH₃). Если растворяются доли грамма вещества, то их называют плохо растворимыми (O₂, N₂, CO).

Если поглощаемый газ — *абсорбтив* — химически не взаимодействует с абсорбентом, это *физическая абсорбция*. Если же абсорбтив образует с абсорбентом химическое соединение, то такой процесс называют *хемосорбцией*. В технических устройствах распространено сочетание обоих видов абсорбции.

Физическая абсорбция (или просто абсорбция) обычно обратима. На этом свойстве абсорбционных процессов основано выделение поглощенного газа из раствора — *десорбция*. Десорбцию газа проводят отгонкой его в токе инертного газа или водяного пара в условиях подогрева абсорбента или снижения давления над абсорбентом. Отработанные после хемосорбции абсорбенты обычно регенерируют химическими методами или нагреванием. Сочетание абсорбции и десорбции позволяет многократно применять поглотитель и выделять поглощенный газ в чистом виде.

В промышленности абсорбцию применяют для:

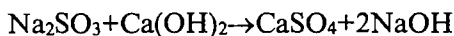
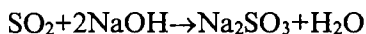
- получения готового продукта (например, абсорбция SO_3 в производстве серной кислоты, абсорбция HCl с получением хлороводородной кислоты, абсорбция оксидов азота водой в производстве азотной кислоты и т. д.); при этом абсорбцию проводят без десорбции;

- выделение ценных компонентов из газовых смесей (например, абсорбция бензола из коксового газа; абсорбция ацетилена из газов крекинга или пиролиза природного газа и т. д.); при этом абсорбцию проводят в сочетании с десорбцией;

- очистки газовых выбросов от вредных примесей (очистка топочных газов от SO_2 , очистка от фтористых соединений газов и т. д.) или газов, в которых присутствие примесей недопустимо из-за нарушения технологических процессов дальнейшей их переработки (очистка коксового и нефтяного газов от H_2S , очистка азотоводородной смеси для синтеза аммиака от CO_2 и CO и т. д.). В этих случаях извлекаемые из газовых смесей компоненты выделяют десорбцией;

- сушки газов, когда в абсорбционных процессах (абсорбция, десорбция) участвуют две фазы — жидкая и газовая — и происходит переход вещества из газовой фазы в жидкую (при абсорбции) или наоборот (при десорбции).

В транспортном комплексе процесс абсорбции применяют для нейтрализации газовых примесей HCl , HF , NH_3 , SO_2 , Cl_2 , H_2S . Добавки химических реагентов используются для увеличения движущей силы массопереноса и изменения молекулярных формул абсорбируемого загрязнителя. Так, при очистке газа от SO_2 в абсорбере с водным раствором NaOH и нейтрализаторе-отстойнике происходят реакции



Абсорберы получили распространение и на автомобилях, работающих в замкнутых пространствах (теплицах, под землей, карьерах), для очистки отработавших газов от токсичных веществ.

Адсорбция — процесс поглощения вещества из смеси газов, паров или растворов поверхностью или объемом пор твердого тела — адсорбента. Поглощаемое вещество, находящееся в объемной фазе (газе, паре или жидкости), называется адсорбтивом, а поглощенное — адсорбатом. Адсорбцию подразделяют на физическую и химическую. *Физическая адсорбция* обусловлена поверхностными силами, которые проявляются на расстояниях, значительно превышающих размеры адсорбируемых молекул. Поэтому на поверхности адсорбента обычно удерживаются несколько слоев молекул адсорбата. При *химической адсорбции* поглощаемое вещество вступает в химическое взаимодействие с адсорбентом с образованием на его поверхности обычных химических соединений.

Силы притяжения возникают на поверхности адсорбента из-за того, что силовое поле поверхностных атомов и молекул не уравновешено силами взаимодействия соседних частиц. По физической природе силы взаимодействия молекул поглощаемого вещества и адсорбента относятся к дисперсионным, возникающим благодаря перемещению электронов в сближающихся молекулах. При этом большое значение имеют электростатические и индукционные силы, а также водородные связи.

Заполнение адсорбатом поверхности адсорбента частично уравновешивает поверхностные силы и вследствие этого снижает поверхностное натяжение (свободную удельную поверхностную энергию). Поэтому адсорбция является самопроизвольным процессом, течение которого сопровождается уменьшением свободной энергии и энтропии системы, а также энтальпии, что равнозначно выделению теплоты, т. е. процессы адсорбции экзотермичны. Они также избирательны и обратимы. Процесс, обратный адсорбции, называют *десорбцией*, которую используют для выделения поглощенных веществ и регенерации адсорбента.

Адсорбцию применяют для обработки смесей с низкой концентрацией извлекаемых веществ. Типичные примеры — осушка газов и жидкостей, разделение смесей углеводородов, рекуперация растворителей, очистка вентиляционных выбросов и сточных вод.

Ионный обмен — частный случай хемосорбции. Происходит между твердым ионообменным сорбентом (*ионитом*) и раствором электролита. Кинетика, а также аппаратное оформление ионообменных процессов близки к адсорбционным.

В промышленности используют природные ионообменные сорбенты (цеолиты, бентонитовые глины, фосфаты титана, циркония и

др.), так и синтетические (ионообменные полимеры, смолы). Синтетические сорбенты-иониты представляют полимерную матрицу с трехмерной структурой макромолекул, имеющую ионогенные группы. В растворе иониты образуют неподвижные макромолекулярные ионы и подвижные ионы противоположного знака. В зависимости от типа подвижного иона иониты делят на *катиониты* — поликислоты, способные обмениваться с раствором катионами, и *аниониты* — полиоснования, обменивающиеся с раствором анионами.

Ионный обмен применяют при производстве неорганических веществ, в энергетике (глубокая очистка воды перед подачей ее в котлы), при очистке сточных вод. Недостаток — частая регенерация ионитов с последующей их промывкой, что связано с дополнительным расходом реагентов (обычно кислот и щелочей) и образованием значительного объема сточных вод.

Кроме рассмотренных выше методов для очистки сточных вод, а также в оборотных системах водоснабжения на транспортных предприятиях применяют методы флотации, гиперфильтрации, эвапорации, выпаривания, испарения и кристаллизации, нейтрализации, электрохимической очистки и др.

Ф л о т а ц и я — заключается в обволакивании частиц маслопродуктов пузырьками воздуха, подаваемого в сточную воду, и предназначена для интенсификации процесса их всплывания. В основе процесса — молекулярное слипание частиц масла и пузырьков тонкодиспергированного в воде воздуха. Образование агрегатов «частица-пузырьки воздуха» зависит от их столкновения друг с другом и т. д.

В зависимости от способа образования пузырьков воздуха различают следующие виды флотации: *напорную, пневматическую, химическую, вибрационную, биологическую, электрофлотацию*.

Последняя широко применяется в промышленности, так как электрохимические процессы обеспечивают дополнительное обеззараживание сточных вод. Образование газовой фазы при электролизе сточных вод сопровождается выделением H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2 .

Объем и площадь сечения флотационной камеры, объемную плотность тока рассчитывают исходя из расходов газа и сточной воды, степени газонаполнения сточной воды, площади поверхности пенообразования.

П е р е г о н к а ж и д к о с т е й — процесс, в котором разделяемая жидкая смесь нагревается до кипения, а образующийся пар отбирается и конденсируется. В результате получают жидкость-конденсат, состав которой отличается от состава начальной смеси. Повторяя много раз процессы испарения и конденсации, можно разделить исходную смесь на чистые составные части (компоненты).

Процесс перегонки основан на том, что составляющие смесь жидкости обладают различным давлением (упругостью) пара при

одной и той же температуре. Поэтому состав пара, а следовательно, и состав жидкости, получающейся при конденсации пара, будут отличаться от состава начальной смеси: легколетучего (или низкокипящего) компонента в паре будет содержаться больше, чем в перегоняемой жидкости. В неиспарившейся жидкости концентрация труднолетучего (или высококипящего) компонента при этом должна увеличиться. В простейшем случае перегонка не отличается от выпарки. Но выпарке подвергаются растворы, состоящие из летучего растворителя и практически нелетучего растворенного вещества, а при перегонке в пар переходят как растворитель, так и растворенное вещество.

Перегонка — важный технологический процесс разделения и очистки жидкостей и сжиженных газов в химической, нефтехимической и других отраслях промышленности; разделяется на простую перегонку (или дистилляцию) и ректификацию. На транспортных предприятиях этот процесс используется для получения дистиллированной воды, необходимой для приготовления электролита аккумуляторных батарей.

Простая перегонка — процесс однократного частичного испарения исходной жидкой смеси и конденсации образующихся при этом паров. Ее применяют для разделения смесей, представляющих собой легколетучее вещество с некоторым содержанием труднолетучих веществ (предварительное разделение, очистка веществ от примесей, смол, загрязнений). При этом сконденсированные пары называют *дистиллятом*, а оставшуюся неиспаренной жидкость — *остатком*.

Ректификация — разделение смесей жидкостей, целиком или частично растворенных друг в друге. Процесс заключается в многократном взаимодействии паров с жидкостью — *флегмой*, полученной при частичной конденсации паров.

Жидкостная экстракция — процесс перехода одного или нескольких растворенных веществ из одной жидкой фазы в другую при их непосредственном контакте, практически нерастворимую или частично растворимую в первой, но растворяющую эти вещества. Экстракцию из твердых веществ жидкостью (растворителем) называют *экстрагированием*. Если в этом процессе в качестве растворителя используется вода, то такую экстракцию называют *выщелачиванием*.

Процессы жидкостной экстракции применяют в химической, нефтехимической, металлургической промышленности с целью извлечения ценных или токсичных веществ из растворов, в том числе и из сточных вод предприятий, а также для получения концентрированных растворов этих веществ.

Процесс экстракции экономически выгоднее, например, ректификации, когда концентрация извлекаемого компонента мала, так

как при экстракции не нужно испарять всю жидкую смесь. Экстракцию целесообразно применять также, если смесь невозможно или трудно разделить ректификацией или разделяемая смесь разлагается при нагревании. Обычно жидкостную экстракцию сочетают с ректификацией, которую применяют для регенерации экстрагирующей жидкости, называемой *экстрагентом* или *растворителем*. Кроме ректификации для регенерации экстрагента применяют такие методы, как нагревание, выпаривание и др. Раствор извлеченных веществ в экстрагенте называют *экстрактом*, а раствор, из которого удалены экстрагируемые компоненты, — *рафинатом*.

Процесс экстракции всегда связан с добавлением к разделяемому раствору экстрагента, что неизбежно приводит к загрязнению продуктов разделения и к необходимости последующей очистки и, естественно, к удорожанию процесса. Этот недостаток экстракционных процессов существенно ограничивает области их применения.

Р а с т в о р е н и е — переход вещества в раствор с поверхности частиц. Производится с целью разделения системы, состоящей из растворимых и инертных частиц, когда растворимые частицы отделены от инертных, а последние не оказывают существенного влияния ни на кинетику растворения, ни на конечные результаты процесса.

При *физическом* растворении исходное твердое вещество может быть вновь получено кристаллизацией из раствора. *Химическое* растворение — гетерогенная химическая реакция, продукты которой растворяются в жидком объеме. Возврат к исходному твердому веществу путем кристаллизации здесь невозможен. При химическом растворении могут образовываться твердые или газообразные продукты реакции, значительно осложняющие кинетику растворения.

Процессы растворения протекают достаточно быстро, чему способствует непосредственный контакт движущейся (перемешиваемой) жидкости с поверхностью растворяющихся частиц.

Э к с т р а г и р о в а н и е — процесс извлечения одного или нескольких компонентов из твердого материала путем избирательного растворения в жидкостях (экстрагентах). Извлекаемые компоненты содержатся в порах твердого тела в виде растворенного вещества или в виде твердой фазы. В первом случае говорят об экстрагировании растворенного вещества, во втором — об экстрагировании твердого вещества.

Процесс экстрагирования растворенного вещества состоит в следующем. Растворенное вещество, содержащееся в пористой структуре твердого тела, диффундирует в основную массу жидкости; концентрация целевого компонента в порах неуклонно снижается, а в жидкости (экстрагенте) увеличивается. Механизм экстрагирования твердого вещества отличается большей сложностью и включает в себя три стадии:

- 1) проникание экстрагента в пористую структуру твердого тела;

- 2) растворение целевого компонента в экстрагенте;
- 3) диффузия растворенного компонента в основную массу жидкости.

Скорость процесса в целом лимитируется третьей стадией, как наиболее медленной.

Экстрагирование твердого вещества кинетически неравноценно его растворению. В условиях растворения вещество непосредственно контактирует с движущейся жидкостью, благодаря чему сопротивление массопереносу невелико. В условиях экстрагирования твердого вещества область, содержащая целевой компонент, первоначально занимает весь объем частицы, а с ходом экстрагирования систематически сокращается. Извлекаемый компонент только в первый момент экстрагирования находится в контакте с движущейся жидкостью, а впоследствии теряет контакт с нею. Перенос вещества к границам пористого тела происходит с помощью механизма молекулярной диффузии в неподвижной жидкости, заполняющей пористый объем. По этой причине экстрагирование — менее интенсивный процесс по сравнению с растворением.

Средством интенсификации упомянутых процессов является уменьшение размеров частиц, поступающих на растворение или экстрагирование. Но с уменьшением размера частиц возрастает мощность, расходуемая на работу измельчителей или помольных мельниц, возрастают трудности при реализации фильтрования или отстаивания.

К р и с т а л л и з а ц и я — процесс образования твердой фазы в виде кристаллов из раствора и расплавов, а также из газов и паров. Применяется в химической, нефтехимической, металлургической промышленности для:

- выделения кристаллической фазы из растворов и расплавов;
- разделения смесей при однократной или многократной кристаллизации;
- глубокой очистки веществ от примесей.

Получение кристаллов различного размера в промышленном масштабе называют *массовой кристаллизацией*. Процесс кристаллизации происходит в случае, когда исходная фаза находится в состоянии *пересыщения* или *переохлаждения*. Пересыщенными называют растворы, в которых концентрация растворенного вещества выше его растворимости. Поскольку пересыщенные растворы неустойчивы, то из них выделяется избыточное количество растворенного вещества, т. е. происходит процесс кристаллизации. После прекращения выделения кристаллов раствор становится насыщенным. Его называют *маточным*, для отделения которого от твердой фазы используют отстаивание, фильтрование, центрифугирование и др.

Кристаллизация состоит из двух основных стадий — *образования зародышей кристаллов* и *роста кристаллов*, которые обычно протекают одновременно. Если скорость образования зародышей кри-

сталлов больше скорости их роста, то получается большое число мелких кристаллов. Если же скорость появления зародышей кристаллов меньше скорости их роста, то образуются кристаллы больших размеров, но в меньшем количестве.

Начало образования зародышей кристаллов происходит не во всем объеме раствора или расплава, а в *центрах кристаллизации*, которыми могут быть, например, различные механические примеси; они могут возникать под влиянием шероховатостей стенок аппарата, других факторов. Для ускорения и равномерного образования зародышей во всем объеме раствора или расплава в аппарат подают *затравку* — мелкие частицы кристаллизующегося вещества, которые и являются зародышами кристаллов. Если нужно получить кристаллы крупных размеров, то число затравочных кристаллов должно быть невелико.

Распространение получила кристаллизация из растворов для очистки и разделения неорганических веществ. Процесс протекает при значительно более низких температурах, чем при кристаллизации расплавов тех же веществ.

Кристаллизация из растворов является процессом, обратным растворению. Поэтому тепловой эффект кристаллизации равен по величине и противоположен по знаку тепловому эффекту растворения. Это означает, что вещества, растворяющиеся с поглощением теплоты, кристаллизуются с выделением теплоты, и наоборот. В промышленности используют два метода кристаллизации или их комбинации: *изотермический* — перенасыщение раствора достигается удалением части растворителя путем выпаривания при постоянной концентрации (температура постоянна), и *изогидрический* — перенасыщение раствора достигается охлаждением раствора при сохранении массы растворителя.

Изотермическая кристаллизация используется для растворов, у которых растворимость слабо увеличивается с ростом температуры, либо уменьшается. В этом случае охлаждение не позволяет достичь нужной степени перенасыщения.

Изогидрический метод используется для растворов, у которых наблюдается сильный рост растворимости с увеличением температуры.

Еще один метод кристаллизации — *высаливание* — в раствор вводят добавки (соли, кислоты и др.), снижающие растворимость кристаллизующегося вещества.

Рассмотренные методы кристаллизации включают физические процессы образования кристаллической фазы. Кристаллизацию с химической реакцией называют *аддуктивной*. При этом в раствор добавляют реагент, образующий с выделяемым веществом комплексное соединение — *аддукт*. Полученное комплексное кристаллическое соединение отделяют от раствора, например, фильтровани-

ем, и затем подвергают термическому разложению. Процесс кристаллизации включает несколько последовательных стадий: подготовку раствора (доведение раствора до состояния перенасыщения), собственно кристаллизацию, отделение кристаллов от маточника, промывку кристаллов и их сушку.

Сушка — процесс удаления влаги из вещества (обычно твердых тел) путем ее испарения и отвода образующихся паров. Часто тепловой сушке предшествуют механические способы удаления влаги (отстаивание, фильтрование, центрифугирование и др.).

При сушке в виде пара удаляется легколетучий компонент (вода, органический растворитель и т. д.). Этот процесс применяется на конечной стадии технологического процесса с целью обеспечения высоких физико-механических характеристик получаемых продуктов или на промежуточных стадиях, если удаление растворителя необходимо по технологическим соображениям. По физической сущности сушка является процессом тепломассопереноса и сводится к перераспределению и перемещению влаги под воздействием теплоты из глубины высушиваемого материала к его поверхности и последующему ее испарению. В процессе сушки влажное тело стремится к состоянию равновесия с окружающей парогазовой средой, поэтому его температура и влагосодержание в общем случае являются функцией времени и координат.

Понятие влагосодержания w_0 — отношение массы влаги m_w , содержащейся в теле, к массе абсолютно сухого тела m_c : $w_0 = m_w / m_c$ отличается от понятия влажности w , когда удаляется не вся влага: $w = m_w / (m_c + m_w) = w_0 / (1 + w_0)$. Но при малых значениях влагосодержания $w_0 \ll 1$ величина $(1 + w_0) \approx 1$ и величины w и w_0 практически совпадают. Скорость процесса является функцией внутренней структуры материала и его теплофизических свойств, размеров, формы и состояния внешней поверхности.

По способу подвода теплоты различают сушки:

- *конвективную* — путем непосредственного контакта материала и сушильного агента. Подвод теплоты осуществляется с газовым потоком (воздух или смесь воздуха с продуктами сгорания топлива), который в процессе сушки охлаждается с увеличением своего влагосодержания;

- *контактную (кондуктивную)* — путем передачи теплоты от теплоносителя к материалу через разделяющую их стенку;

- *радиационную* — путем передачи теплоты инфракрасным излучением;

- *сублимационную*, при которой влага удаляется из материала в замороженном состоянии (обычно в вакууме);

- *диэлектрическую*, при которой материал высушивается в поле токов высокой частоты.

Процесс сушки широко используется в автомобильном производстве, при выполнении технического обслуживания и ремонта объектов транспорта.

Массообмен через полупроницаемые мембраны применяют для разделения смесей, очистки и концентрирования растворов, выделения высокомолекулярных соединений из растворов, содержащих низкомолекулярные компоненты, при обработке воды и водных растворов, очистке сточных вод, а также разделения газовых смесей, например, выделения кислорода из воздуха, получения обогащенного кислородом воздуха, выделения гелия и диоксида серы из природного газа и т. п.

Применение полупроницаемых мембран может дать значительный эффект при сочетании с ректификацией, адсорбцией, экстракцией и др. К мембранным методам разделения (разделяемая смесь соприкасается с полупроницаемой мембраной) относятся *обратный осмос, ультрафильтрация, микрофильтрация, диализ, электродиализ, испарение через мембрану* и др. Вследствие особых свойств полупроницаемых мембран прошедшее через них вещество обогащается или обедняется одним или несколькими компонентами настолько полно, что продукт практически не содержит примесей, задерживаемых мембраной. И наоборот, применяя тот или иной мембранный метод разделения, можно получать в смеси перед мембраной компонент практически без примесей вещества, проходящего через мембрану.

Мембранные процессы классифицируются по виду основной движущей силы процесса. Движущей силой мембранного процесса является градиент химического (для незаряженных частиц потока) или электрохимического (для заряженных частиц потока) потенциала.

Для расчетов таких процессов в качестве движущей силы принимают градиенты: *давлений* — баромембранные процессы (обратный осмос, нано-, ультра- и микрофильтрация), *концентраций* — диффузионно-мембранные процессы (диализ, испарение через мембрану, мембранное разделение газов и др.), *электрического потенциала* — электромембранные процессы (электродиализ, электроосмос и др.), *температур* — термомембранные процессы (мембранная дистилляция и др.). В мембранных процессах возможно сочетание двух или даже трех названных выше движущих сил. Прошедший через мембрану продукт называется *пермеатом*, а оставшаяся перед мембраной разделяемая смесь — *ретантом*.

Селективность ϕ (%) процесса разделения с помощью мембран определяют по формуле

$$\phi = (c_1 - c_2) 100 / c_1, \quad (2.34)$$

где c_1 и c_2 — концентрации вещества в исходной смеси и пермеате.

Удельная производительность (проницаемость) G [л/(м²·ч), кг/(м²·с)] выражается объемом (или массой) пермеата V , получаемого при данной движущей силе в единицу времени t с единицы рабочей поверхности F мембраны:

$$G = V/(Ft). \quad (2.35)$$

2.6.2. Процессы нейтрализации и электрохимической очистки

Нейтрализация широко используется при очистке от вредных компонентов отработавших газов объектов транспорта, уходящих газов тепловых электростанций, котельных, испытательных станций, при очистке сточных вод, для выделения кислот, щелочей, солей, металлов на их основе.

Токсичность отработавших газов можно уменьшить с помощью реакторов, установленных в выпускной системе транспортного средства или на выходе топочного устройства. При этом степень превращения газов (%) в нейтрализаторе оценивается коэффициентом преобразования:

$$K = (c_{\text{вх}} - c_{\text{вых}})100/c_{\text{вх}}, \quad (2.36)$$

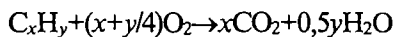
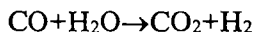
где $c_{\text{вх}}$, $c_{\text{вых}}$ — концентрации токсичных компонентов в отработавших газах на входе и выходе нейтрализатора.

К устройствам нейтрализации двигателей с искровым зажиганием относятся термореакторы (дожигатели), окисляющие C_xH_y и CO до CO_2 , и каталитические системы нейтрализации отработавших газов окислительного и бифункционального действия, восстанавливающие NO до азота и кислорода и окисляющие C_xH_y и CO до CO_2 . Для этих целей могут использоваться и системы поглощения вредных веществ адсорбционного типа, а также системы подачи в отработавшие газы специальных добавок для усиления окислительных и восстановительных процессов.

Принцип действия *термореакторов (дожигателей)* основан на доокислении продуктов неполного сгорания в термоизолированных камерах путем подачи дополнительно окислителя и поддержания высоких температур на всех режимах работы двигателя. Из рис. 2.10, где представлены температуры, при которых должна поддерживаться каталитическая реакция, следует, что для достижения эффективного окисления C_xH_y и CO в окислительном нейтрализаторе требуется поддерживать температуру на уровне 535 К, а в термическом реакторе — 800—1000 К [16].

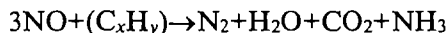
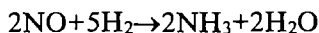
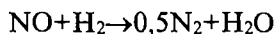
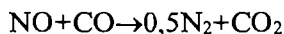
Поэтому наиболее распространены системы нейтрализации каталитического действия, использующие в качестве катализаторов металлы платиновой группы: платину, палладий и родий.

Окислительный каталитический нейтрализатор содержит 1,5 — 3 г платины (окисление CO и медленно сгорающих углеводородов — метана) и палладия (окисление быстро сгорающих углеводородов):



Эффективность окислительных нейтрализаторов ограничена более низкой активностью окисления C_xH_y по сравнению с окислением CO. При отравлении катализаторов ухудшается активность окисления C_xH_y в следующем порядке: ацетилены, ароматические углеводороды, олефины и парафины; метан практически не окисляется, а активность окисления парафинов увеличивается с увеличением их молекулярной массы.

Содержание оксидов азота в отработавших газах в присутствии CO и H_2 при рабочих температурах можно снизить с помощью окислительно-восстановительных каталитических нейтрализаторов, где происходит восстановление NO до N_2 (на бедных смесях) и аммиака NH_3 (на богатых смесях):



Чтобы после восстановления NO образовывалось больше N_2 , чем NH_3 , катализатор должен содержать родий Rh (в отношении с платиной 1/5). На рис. 2.11 показано влияние температуры катализатора на снижение концентрации NO и преобразование в NH_3 для катализаторов из Pt и Ru.

Рутений занимает исключительное положение не только из-за высокой степени преобразования NO, но также и вследствие низкой степени преобразования в аммиак [16].

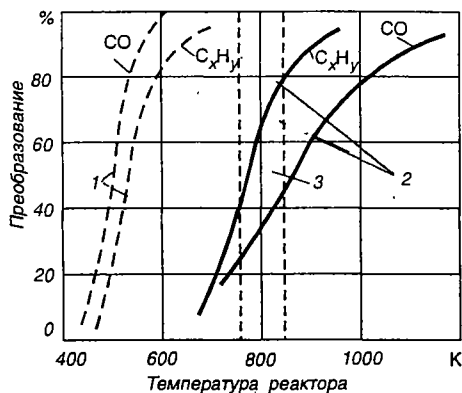


Рис. 2.10. Сравнение эффективности окисления CO и C_xH_y каталитическим нейтрализатором (1) и термическим дожигателем (2); 3 — температура отработавших газов

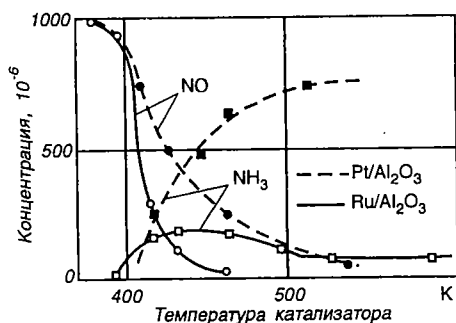


Рис. 2.11. Сравнение эффективности образования аммиака и снижения концентрации NO на платиновых и рутениевых катализаторах [16]:

----- Pt/Al₂O₃; — Ru/Al₂O₃

нию NO до NO₂, который на материале R адсорбируется в виде нитрата. Когда двигатель будет работать при $\alpha < 1,0$, то NO₂ с участием C_xH_y, CO и H₂ восстанавливается на платиново-родиевом катализаторе.

Коэффициент преобразования NO_x составляет 60% и в значительной степени зависит от соотношения C_xH_y/NO_x, а также температуры.

При работе двигателя при $\alpha = 1 - 1,05$ кислорода в отработавших газах может не хватать для окисления на катализаторе всего количества образующегося в цилиндрах NO.

Улучшению условий работы адсорбционно-каталитического нейтрализатора при нарушении требуемого баланса между временем работы двигателя при $\alpha > 1,0$ и при $\alpha < 1,0$ может способствовать подача в выпускную систему (перед нейтрализатором) какого-либо топлива (например, H₂ или смеси 2H₂+CO, получаемой из метанола путем сухой конверсии). Это топливо, связывая избыточный кислород, будет создавать восстановительную среду и увеличивать восстановление нитрата.

Нейтрализация отработавших газов дизелей осуществляется несколько иначе.

Процессы окисления (дожига) CO, C_xH_y, сажи и восстановления NO_x осуществляются в следующей последовательности: на первом этапе — дожиг сажи, на втором — восстановление NO_x, на третьем — окисление CO и C_xH_y.

Для дожига сажи применяют катализатор с использованием оксидов ванадия с обеспечением электроразогрева носителя для иницирования процесса дожигания и объемного окисления сажи в

Таким образом, в данных устройствах происходит снижение концентрации продуктов горения при восстановлении NO и окислении CO и C_xH_y.

Перспективный адсорбционно-каталитический нейтрализатор (DENOX) эффективно работает как на бедных, так и на богатых смесях. Носитель из Al₂O₃ покрыт катализатором из платины Pt и специальным веществом R, выполняющим функцию адсорбера. При работе на бедных смесях платиновый катализатор способствует окисле-

электрическом поле высокого напряжения. Для восстановления NO_x по данным НАМИ можно использовать медь, обеспечив ее электро-разогрев и удаление окалины. Процессы окисления CO и C_xH_y не отличаются от процессов в каталитических нейтрализаторах двигателей с искровым зажиганием.

Дожиг сажи является реакцией между твердым телом и газом и прямого отношения к нейтрализации не имеет. Каталитическим является процесс окисления содержащихся в отработавших газах продуктов неполного сгорания. Часть образующихся при этом на поверхности катализатора молекул лабильных веществ, в частности «осколков» молекул, так называемых радикалов, могут инициировать цепной процесс в газовой среде. Образуются молекулы новых веществ и новые активные свободные радикалы, но уже в газовой фазе на некотором расстоянии от поверхности катализатора. Это гомогенный процесс (в объеме) с гетерогенным зарождением (на поверхности катализатора). Активные радикалы, достигая поверхности частиц сажи, могут вызывать (в присутствии кислорода) процесс ее окисления, но уже при значительно более низких температурах, чем при прогреве частиц сажи в присутствии только кислорода и катализатора.

Поэтому дожиг сажи осуществляется не непосредственно на поверхности катализатора, а в газовой фазе над поверхностью катализатора с помощью активных частиц-радикалов, образующихся на поверхности катализаторов и «сходящих» с нее в газовую фазу. В газовой фазе протекает процесс доокисления некоторых компонентов отработавших газов, что сопровождается достижением определенной концентрации радикалов над катализатором, и чем этот процесс будет интенсивнее, тем полнее будет сгорать сажа. Эффективный дожиг сажи может быть обеспечен при любом способе интенсификации процесса, в том числе при введении в систему активных частиц, образованных без участия катализатора (например, ввод водорода, ионизированного газа и т. п.). Ввод в зону дожига дополнительного количества кислорода, а в некоторых случаях горючего, также может интенсифицировать процессы окисления.

Для интенсификации процесса нейтрализации дополнительно используют высокочастотные электрические поля напряжением в 1,5—2,0 кВ и частотой 0,2—0,4 кГц, что способствует выходу активных частиц с поверхности катализатора в объем.

Процесс восстановления оксидов азота при помощи накаливаемой меди заключается в следующем. Медь, подогретая до 800 К и выше, вступает в химическую реакцию с оксидами азота, конечными продуктами которой являются оксид меди (окалина) и молекулярный азот. Скорость реакции резко возрастает с температурой. При этом

происходит реакция восстановления меди из ее оксида в присутствии CO, но интенсивность реакции накаливаемой меди с NO_x много выше, чем этой же меди с кислородом воздуха. Эффективность восстановления оксидов азота в отработавших газах дизелей прямо пропорциональна температуре меди, площади ее поверхности, а также времени контакта газов с этой поверхностью.

Окалина благодаря большим скоростям отработавших газов в дизеле хорошо отделяется, и, как показали опыты, 60—65% поверхности катализатора всегда остается чистой. Кроме того, при температуре 950—1000 К реакция меди с оксидами азота идет через слой окарины.

Нейтрализация кислот и растворов их солей в сточных водах осуществляют щелочами или солями сильных щелочей: едким натрием, едким калием, гашеной известью, доломитом, мрамором, мелом, магнезитом, содой. Нейтрализация щелочей в сточных водах осуществляется кислотами. На практике используют три способа нейтрализации сточных вод:

1) *фильтрационный* (фильтрация через насадки кусковых или зернистых щелочных материалов);

2) *воднореагентный* (добавление в сточную воду реагента в виде раствора или сухого вещества — извести, соды или шлака);

3) *полусухой* (перемешивание концентрированных кислотосодержащих сточных вод (гальванического раствора) с сухим реагентом (известью, шлаком) с последующим образованием нейтральной тестообразной массы).

Электрохимическая очистка сточных вод осуществляется электролизом и реализуется двумя путями: окислением веществ путем передачи электронов непосредственно на поверхность анода или через вещество-переносчик, а также в результате взаимодействия с сильными окислителями, образовавшимися в процессе электролиза. Наличие в сточной воде хлорид-ионов обуславливает появление при электролизе хлора, который является сильнейшим окислителем и способен вызвать глубокую деструкцию многих органических веществ в сточных водах.

Окисление применяют для очистки сточных вод гальванических производств, содержащих простые цианиды или комплексные цианиды цинка, меди, железа. Осуществляется в электролизерах (обычно прямоугольной формы) непрерывного или периодического действия. На аноде происходит окисление цианидов с превращением их в малотоксичные и нетоксичные продукты (цианиты, карбонаты, CO₂, N₂), а на катоде — разряд ионов водорода с образованием газообразного H₂ и разряд ионов Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺, образующихся при диссоциации комплексных анионов с содержанием CN-группы.

2.7. Параметрические (энергетические) процессы

Параметрическое (энергетическое) загрязнение окружающей среды связано с распространением в ландшафтах биосферы энергии колебаний различной частоты (от тысячных долей Гц до десятков ГГц).

Источниками загрязнения являются колебания, возникающие при соударении, трении, скольжении твердых тел, истечении жидкостей и газов (*шум, вибрации*), генерации, передаче и использовании электрической энергии (*электромагнитные излучения*). Эти колебания возникают в работающих транспортных средствах, мобильных средствах связи, электромоторах, тяговых подстанциях, других объектах, где происходит реализация ЖЦ транспортных объектов.

2.7.1. Шум

Ш у м — любой нежелательный звук или совокупность звуков, оказывающих неблагоприятное воздействие на организм человека.

В транспортном комплексе источниками шума являются процессы механического, аэродинамического, электромагнитного, гидродинамического происхождения, прежде всего шум от вибрации корпусных деталей, систем газообмена, охлаждения двигателей, агрегатов трансмиссии, а также аэродинамический шум и шум шин транспортных средств, строительно-дорожных машин, технологического оборудования. Под *шумом* объекта транспорта понимается акустическое излучение, производимое им при работе. Транспортное средство как источник акустического излучения характеризуют значением излучаемой акустической мощности, ее спектром и диаграммой направленности излучения.

З в у к — механические колебания частиц упругой среды, образующиеся под воздействием какой-либо возмущающей силы. Акустические колебания в диапазоне 16—20 000 Гц, воспринимаемые слуховым аппаратом человека, называются *звуковыми*, а пространство их распространения — *звуковым полем*. Колебания ниже 16 Гц — *инфразвуковые*, а выше 20 000 Гц — *ультразвуковые*.

Известно, что звуковое давление p в звуковой волне равно разности давлений среды в присутствии и при отсутствии волны. Уровнем шума называют двадцатикратный логарифм отношения звукового давления к пороговому значению: $p=2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$. Если предположить, что источник шума (двигатель) находится в точке O (рис. 2.12) и излучает шум в окружающее пространство, то, выделив полусферу S радиуса r и единичную площадку A на ней, можно определить, что сила звука I — количество звуковой энергии, прошедшее через единичную площадку, перпендикулярную радиусу r , в единицу времени.

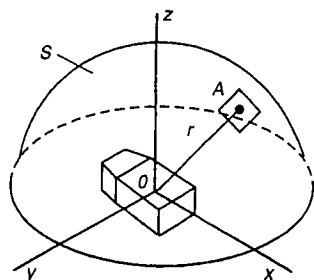


Рис. 2.12. Прохождение звука через единичную площадку

Сила звука пропорциональна квадрату звукового давления и ее выражают в Вт/м². Поэтому уровень шума иногда определяют как десятичный логарифм отношения силы звука к пороговому значению: $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м². В результате уровень шума (дБ) определяется по формуле

$$L = 10 \lg(I/I_0) = 20 \lg(p/p_0). \quad (2.37)$$

Акустическая мощность W (Вт) объекта — общее количество энергии, излучаемой транспортным средством в окружающее пространство в виде звука и прошедшей через поверхность полусферы радиуса r в единицу времени; вычисляется по формуле

$$W = 10^{0,1 L_w - 12}. \quad (2.38)$$

Уровнем акустической мощности называют величину

$$L_w = 10 \lg(W/W_0), \quad (2.39)$$

где $W_0 = 10^{-12}$ Вт.

Уровень мощности связан с уровнем шума выражением

$$L_w = L + 20 \lg r + 10 \lg \Omega - 10 \lg \Phi, \quad (2.40)$$

где Ω — телесный угол, в котором осуществляется излучение с учетом допущения о том, что акустическое излучение объекта происходит из центра O полусферы, $10 \lg \Omega \cong 8$; Φ — фактор направленности излучения, представляющий собой величину p^2/p_{cp}^2 , т. е. отношение квадрата звукового давления в произвольной точке полусферы радиуса r к квадрату звукового давления, осредненному по всем точкам измерения на поверхности S .

Обычно шум измеряют в точке L с помощью шумомера при использовании линейной частотной характеристики прибора по шкале A , учитывающей особенности восприятия человеком звуков различной частоты. Орган слуха человека различает не разность, а кратность изменения абсолютных значений звуковых давлений. Поэтому шум оценивают не абсолютной величиной — звуковым давлением, а его *уровнем*, т. е. отношением создаваемого звукового давления к пороговому давлению (по формуле 2.37). В работающем двигателе транспортного средства причиной возникновения акустического излучения является осуществление рабочего процесса, связанного с подводом теплоты Q_1 к рабочему телу в цилинд-

ре. Для сравнения качества конструкций ДВС, заключающегося в способности преобразовать часть тепловой энергии Q_1 в энергию звукового излучения, служит коэффициент акустического излучения двигателя

$$n_{\text{ак}} = W/Q_1 \rightarrow \min. \quad (2.41)$$

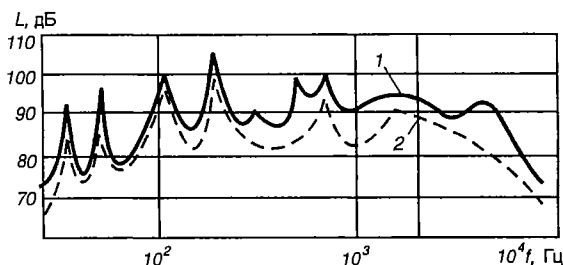
Если у одного из двигателей этот коэффициент выше, то его конструкция акустически менее совершенна. Современные поршневые ДВС, используемые в автомобилях и дорожно-строительных машинах, при работе на номинальном режиме излучают 2—3 Вт акустической мощности. В точках пространства на расстоянии 1 м вокруг поверхности работающего двигателя возникают уровни шума 104—120 дБ.

Важной характеристикой шума является его *спектр*. Орган слуха человека неодинаково реагирует на звуки с одной амплитудой, но разной частоты. Спектр шума объекта показывает распределение энергии излучения по частотному диапазону. В них присутствуют дискретные составляющие, кратные числу вращения, числу цилиндров двигателя, и сплошная область (рис. 2.13). Октавные спектры звуковой мощности служат основной характеристикой шума машины.

Причинами возникновения звука являются: взаимодействие колеблющегося тела со средой; «быстрое» выделение энергии в конечном объеме среды; подведение (отток) конечного количества вещества в определенную область среды; обтекание потоком вещества твердого тела.

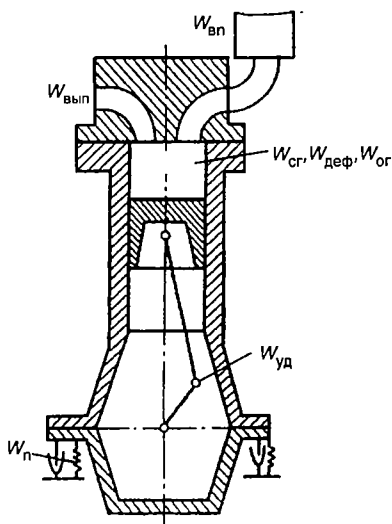
Акустическое излучение является следствием возмущения колебательной системы, распространения в ней колебаний и последующего процесса излучения энергии колебаний в окружающее пространство. Акустическое излучение объектов транспорта концентрируется преимущественно в диапазоне 20—8000 Гц.

Рассмотрим это явление на примере поршневого ДВС [11]. На такте впуска из области перед горловиной впускного патрубка (рис. 2.14) будет происходить отток вещества. Движущийся по впускному тракту свежий заряд будет взаимодействовать со стенками,



2.13. Шум дизеля в точке пространства около двигателя на расстоянии 1 м от его боковой поверхности [11]:

1 — режим частичных нагрузок; 2 — режим холостого хода



2.14. Схема конструкции двигателя и возникновения акустического излучения

В механизмах двигателя при работе могут возникать удары сопрягаемых деталей (клапан-седло), что приводит к шуму $W_{уд}$. Работа агрегатов, размещаемых на двигателе (вентилятор, топливоподающий насос и др.), приводит также к появлению шума $W_{ар}$. При выпуске происходит приток вещества в области, прилегающей к выпускному патрубку; здесь выделится также какое-то количество энергии. Это приводит к возникновению шума выпуска $W_{вып}$.

Если суммировать перечисленные составляющие акустической мощности, то получим уравнение акустического баланса двигателя «по рабочему циклу» (Вт):

$$W_d = W_{вп} + W_{вып} + W_{деф} + W_{сг} + W_{п} + W_{уд} + W_{ар}. \quad (2.42)$$

Акустическое излучение двигателя осуществляется горловинами впускного и выпускного трактов и всей поверхностью. Причем элементы поверхности двигателя излучают разные количества акустической энергии. Уравнение акустического баланса двигателя «по поверхности» (Вт) имеет вид:

$$W_d = W_{вп} + W_{вып} + \sum_{i=1}^n W_i, \quad (2.43)$$

где W_i — акустическое излучение, осуществляемое i -м элементом поверхности двигателя; n — число элементов, на которое разбита вся

впускным клапаном и другими элементами конструкции. Возникает акустическое излучение, которое называют шумом впуска. Излучаемая при этом акустическая мощность обозначается $W_{вп}$. При сжатии, сгорании и расширении происходит деформация стенок камеры сгорания, что приводит к колебаниям наружных стенок двигателя. Энергия колебаний стенок в виде звука $W_{деф}$ излучается в окружающее пространство. Помимо того, подвод теплоты к рабочему телу в цилиндре двигателя при сгорании также приводит к появлению акустического излучения при сгорании $W_{сг}$. Опрокидывающий момент будет вызывать колебания двигателя на подвеске, энергия которых $W_{п}$ в виде звука, частично будет излучаться в окружающее пространство.

поверхность объекта. Удельная акустическая мощность, излучаемая поверхностью современного двигателя, составляет 90—115 дБ/м².

Акустическое излучение участков поверхности двигателя, горловин трактов впуска и выпуска иногда отождествляют с действием простейших излучателей нулевого и первого порядка (из-за малости действием излучателей более высоких порядков пренебрегают). Отсюда — третья разновидность акустического баланса двигателя «по излучателям» (Вт):

$$W_d = \sum_l W_0 + \sum_{i=1}^k W_i, \quad (2.44)$$

где W_0 — излучение нулевого порядка; k — число излучателей нулевого порядка; l — число излучателей первого порядка.

Составление акустического баланса двигателя или любого другого объекта транспорта по формулам (2.42—2.44) дает возможность определить наиболее существенные составляющие шума, указать причины возникновения, изучить процесс формирования, найти наиболее рациональные пути его подавления.

2.7.2. Вибрация

В и б р а ц и я — движение точки или механической системы под воздействием какой-либо внешней силы, при котором происходят колебания характеризующих ее скалярных величин (виброперемещение, виброскорость, виброускорение).

Колебания в механических системах передаются от дорожной поверхности как через элементы конструкции на находящихся в салоне водителя и пассажира, а также через грунт, воздействуя на биоту и инженерные сооружения.

Вибрация может измеряться с помощью абсолютных и относительных величин. Абсолютные параметры — виброперемещение, виброскорость и виброускорение. Общие и локальные вибрации оцениваются средними квадратичными и скорректированными значениями (вертикальными, продольными, поперечными) виброскорости (м/с) и виброускорения (м/с²). Основной относительной величиной является уровень виброскорости L_v (дБ), который определяется по формуле

$$L_v = 20 \lg v/v_0, \quad (2.45)$$

где v_0 — пороговое значение виброскорости и v — среднее квадратичное значение виброскорости, м/с.

Первая производная по скорости — виброускорение (м/с²) формирует ограничения на конструкцию транспортного средства, так как при его движении генерируются частоты вынужденных колеба-

ний до 20 Гц, при которых входят в резонанс с частотой собственных колебаний отдельные внутренние органы человека.

Основные источники вибрации — технологическое оборудование ударного действия (молоты, прессы, грохоты), энергетические установки (насосы, компрессоры, двигатели), транспортные средства. Вибрации распространяются по грунту и достигают фундаментов общественных и жилых зданий, часто вызывая и звуковые колебания, которые разрушают конструкции и сооружения. Они затухают в грунте с темпом примерно 1 дБ/м и на расстоянии 50—60 м от транспортной магистрали уже не ощущаются. Ощутимое воздействие вибрации при работе оборудования кузнечно-прессовых цехов распространяется на 150—200 м.

2.7.3. Электромагнитное излучение

Устройства, генерирующие, передающие и использующие электрическую энергию в транспортном комплексе, создают в окружающей среде электромагнитные поля (ЭМП). Электромагнитное поле распространяется в ОС со скоростью, приближающейся к скорости света, и характеризуется напряженностью электрической и магнитной составляющих поля.

Измерителями электромагнитного излучения являются:

— *напряженность электрической составляющей* (В/м). Служит для оценки интенсивности ЭМП в диапазоне частот 30 кГц—300 МГц;

— *плотность потока энергии* (Вт/м²) — количество энергии, переносимой электромагнитной волной в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны. Служит для оценки интенсивности ЭМП в диапазоне частот 300 МГц—300 ГГц.

Для оценки биологического воздействия электромагнитных полей различают *зону индукции* (ближнюю) и *зону излучения* (дальнюю). Ближняя расположена на расстоянии от источника, равном 1/6 от длины волны. Здесь магнитная составляющая напряженности поля выражена слабо, поэтому ее действие на организм незначительно. В дальней зоне проявляется эффект обеих составляющих поля.

Основным источником низкочастотных электромагнитных колебаний являются воздушные линии электропередач, системы транспортных средств (электрооборудования, зажигания, управления, охранной сигнализации, навигационная). Электромагнитные поля высокой частоты используются в металлургии для плавления металла в индукционных печах, в машиностроении для термообработки. Электротранспорт является источником значительных электромаг-

нитных колебаний низкой и высокой частоты. Электромагнитную УВЧ- и СВЧ-энергию применяют в радиовещании, телевидении, связи, системах управления дорожным движением и других областях.

2.7.4. Ионизирующее излучение

Ионизирующее излучение — любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков (ионов, нуклидов).

Радиоактивность — самопроизвольное превращение неустойчивого нуклида в другой нуклид, сопровождающееся испусканием ионизирующих излучений.

Основными видами ионизирующих излучений являются [5]:

α -Частицы — ядра гелия, несущие два элементарных положительных заряда; испускаются при распаде некоторых элементов с большим массовым числом (радий, торий, уран и др.). Длина пробега в воздухе 2,5—9 см, в биологических тканях — до 0,1 мкм. Представляют опасность при попадании радионуклидов внутрь организма.

β -Частицы — ядерные частицы, близкие по физической природе к электронам; возникают при радиоактивном распаде и сразу же излучаются. Максимальный пробег в воздухе — несколько метров, в тканях — несколько миллиметров. Опасны при попадании радионуклидов на кожные покровы и внутрь организма. Все радионуклиды, находящиеся в таблице Менделеева до свинца, обладают только β -распадом, а радионуклиды, которые тяжелее свинца, могут иметь как α -, так и β -распад.

γ -Кванты — самые коротковолновые электромагнитные излучения (до 10^{-9} см), которые образуются в ходе ядерных реакций и при распаде осколков деления; близки к рентгеновским лучам, но у γ -квантов короче длина волны и они несут большой энергетический заряд. Пробег в атмосфере измеряется сотнями метров, свободно проникая через преграды.

γ -Излучение измеряется в кулонах на килограмм (Кл/кг)*.

Излучаемая радиоактивными веществами энергия поглощается окружающей средой, вызывая ионизацию атомов и молекул вещества, в результате чего молекулы и клетки ткани разрушаются. Биологический эффект ионизирующего излучения зависит от суммарной дозы, продолжительности воздействия, вида излучения, размеров излучаемой поверхности и индивидуальных особенностей организма.

* $1\text{Р}=2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

Наиболее значимой характеристикой степени опасности ионизирующих излучений является эквивалентная доза излучения — количество энергии любого вида излучения, поглощенное в единице массы вещества с учетом качества излучения. Эквивалентная доза излучения (Зв) рассчитывается по формуле

$$H = \sum_{i=1}^n D_i K_i, \quad (2.46)$$

где n — число видов излучения; D_i — доза излучения; K_i — коэффициенты качества; они различны для разных видов излучения: для γ - и β -излучения $K=1$, для α -излучения $K=20$.

Бэр* (биологический эквивалент рентгена) — такое количество энергии, поглощенное 1 кг ткани, при котором наблюдается тот же биологический эффект, что и при поглощенной дозе излучения в 1 рад рентгеновского и γ -излучений.

Важной характеристикой является радиоактивность A (Бк), как мера количества радиоактивного вещества, выраженная числом самопроизвольных ядерных превращений в единицу времени:

$$A = 1,3 \cdot 10^{16} / MT_{1/2}, \quad (2.47)$$

где M — массовое число радионуклида; $T_{1/2}$ — период полураспада, лет.

В табл. 2.5 приведены единицы измерения доз излучения и активности [5].

Т а б л и ц а 2.5. Единицы измерения доз излучения и активности

Показатель	Единица измерения		Связь с единицей СИ
	СИ	внесистемная	
Эквивалентная доза H	Зиверт (Зв)	Бэр (бэр)	1 бэр=0,01 Зв
Активность A	Беккерель (Бк)	Кюри (Ки)	1 Ки=3,7·10 Бк
Концентрация (объемная активность) радионуклида в атмосфере (воде)	Бк/м ³ (Бк/л)	Ки/м ³ (Ки/л)	1 Ки/м ³ =3,7·10Бк/м

Природные строительные материалы являются источниками радиоактивного излучения: из грунта выделяются радиоактивные газы, в частности радон. Это излучение, фиксируемое в конкретном месте, называют фоновым ионизирующим излучением. Оно складывается из [17]:

— природного естественного радиоактивного фона, вызванного присутствием в биосфере радионуклидов;

* 1 бэр=0,01 Дж/кг.

— технологически повышенного естественного фона, вызванного деятельностью человека;

— искусственных источников излучения (радиоизотопные приборы, гамма-дефектоскопы и др.).

Источниками сверхфонового радиоактивного загрязнения являются:

— долгоживущие радиоактивные изотопы — продукты испытаний ядерного оружия;

— плановые и аварийные выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду от предприятий атомной промышленности и транспортных средств с атомными энергоустановками;

— твердые и жидкие радиоактивные отходы.

Средние мощности фонового γ -излучения на планете составляют 1290 Кл/(кг·ч). Но на отдельных территориях она может достигать до 59 340 Кл/(кг·ч). Значимым для здоровья людей уровень эквивалентной дозы составляет 0,25 Зв. Но многое зависит от интенсивности излучения и времени экспозиции. Последствия однократного облучения: до 0,5 Зв — отсутствуют клинические симптомы; 0,5—1,0 Зв — незначительное недомогание; 1—2 Зв — легкая степень лучевой болезни; 2—4 Зв — тяжелая степень лучевой болезни; более 6,0 Зв — летальный исход.

После аварии на ЧАЭС в 16 областях России, а также в Мордовии, Татарстане и Чувашии образовались зоны радиоактивного загрязнения общей площадью около 50 тыс. км² (табл. 2.6).

Т а б л и ц а 2.6. Площади областей и республик, загрязненных цезием-137, тыс. км² (на 1.01.94 г.)

Область, республика	Общая площадь	Площадь с уровнем загрязнения, Бк/км ² · 10 ¹⁰	
		3,7—18,5	18,5—55,5
Белгородская	27,1	1,62	—
Брянская	34,9	6,75	2,63
Воронежская	52,4	1,32	—
Калужская	29,9	3,50	1,42
Курская	29,5	1,22	—
Липецкая	24,1	1,62	—
Ленинградская	85,9	0,85	—
Нижегородская	74,8	0,25	—
Орловская	24,7	8,84	0,13
Пензенская	43,2	4,13	—
Рязанская	39,6	5,32	—
Саратовская	100,2	0,15	—
Смоленская	49,8	0,10	—

Область, республика	Общая площадь	Площадь с уровнем загрязнения, Бк/км ² · 10 ¹⁰	
		3,7—18,5	18,5—55,5
Тамбовская	34,3	0,51	—
Тульская	25,7	10,32	1,27
Ульяновская	37,3	1,10	—
Мордовия	26,2	1,90	—
Татарстан	68	0,11	—
Чувашия	18	0,08	—

В Брянской области площадь с уровнем загрязнения (55,5—148)10¹⁰ Бк/км² составила 2130 км и с уровнем > 148 · 10¹⁰ Бк/км² — 310 км² [5].

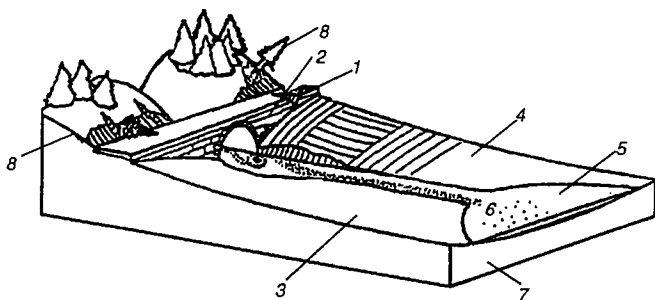
На территориях, подверженных радиоактивному загрязнению, при движении автомобилей происходит осаждение на транспортных средствах радиоактивной пыли. В результате в замкнутых системах водообеспечения транспортных предприятий вода после многократного (более 40 раз) использования по данным Липецкого технического университета получает уровень радиоактивности, существенно превышающий установленные нормы. Поэтому транспортные средства и объекты инфраструктуры, а также природные строительные материалы могут быть источниками радиоактивного загрязнения.

2.8. Ландшафтные нарушения

Ландшафтное загрязнение приводит к разрушению местообитания организмов и нарушению регенерационной способности природных ландшафтов. В результате экосистемы деградируют, разрушаются. Может нарушиться состояние природной среды, при котором обеспечиваются саморегуляция и воспроизводство основных компонентов биосферы (воды, воздуха, почвенного покрова, животного и растительного мира) и здоровые условия жизни человека (экологическое равновесие).

Основная причина ландшафтных нарушений — воздействие на окружающую среду дороги как инженерного сооружения, которое появляется в виде рассечения природной среды дорожной трассой (фрагментация ландшафта); снижения продуктивности почв; развития геодинамических процессов (эрозия, оползни, суффозия и т. п.), что приводит к подтоплению, осушению, изменению уровня грунтовых вод (рис. 2.15).

Экосистемы на придорожных территориях деградируют в результате чрезмерного химического и энергетического загрязнения воздуха, воды и почвы; наличия тепловых аномальных полей, при-



2.15. Воздействие дороги на окружающую среду [34]:

1 — оврагообразование; 2 — эрозия почв; 3 — увеличение размывания водой грунта; 4 — изменения в растительности из-за понижения уровня грунтовых вод; 5 — вынос плодородного грунта с сельскохозяйственных в водоемы; 6 — вынос взвешенных частиц в понижения рельефа местности; 7 — суффозия; 8 — деградация растительности выше по уклону из-за обратной эрозии

водящих к иссушению почв и подтоплению территорий (утечки энергии и воды из инженерных сооружений); больших площадей территорий, находящихся под асфальтом, препятствующим нормальному воздухо- и влагообмену почв. В числе других факторов: нарушение травянистого покрова и его обеднение, следствием чего является снижение численности представителей полезной энтомофауны в городских фитоценозах; изменение фотопериода растений, а также поведения многих видов насекомых-фитофагов (их скопление в пределах зеленых насаждений, что приводит к сильному повреждению последних) в результате освещения дорог в ночное время.

В полосах отвода, резервно-технологической полосе дороги могут возникнуть «краевые зоны» ландшафтов с нарушенными экосистемами, на которые действуют следующие группы факторов [37]:

— *барьерные* (откосы, насыпи, выемки, уклоны, ограждения, экраны, полотна дороги) — препятствуют естественной миграции видов к местам их временного и постоянного обитания, обмену генофонда, размножению, питанию и т. д.;

— *факторы беспокойства* (шум, вибрация, свет от движущегося транспортного потока), пугающие, беспокоящие животных и нарушающие их среду обитания;

— *факторы, обуславливающие химическое загрязнение местообитаний* человека, так и животных и растений, в том числе включающихся в пищевые цепи. Это загрязнители, содержащиеся в выбросах транспорта;

— *факторы, обуславливающие столкновения* с транспортными средствами и гибель на дорогах. Это факторы прямого риска для

биоты помимо риска от предыдущих факторов, «растянутого» во времени.

Воздействие перечисленных факторов на биоту необходимо учитывать, хотя оценить вызываемый ими экологический эффект достаточно сложно.

Одним из видов ландшафтных нарушений, связанных с деятельностью транспорта, является *эстетическое* загрязнение. Наиболее характерные признаки: возведение соразмерных ландшафту зданий, линейных объектов; невыразительность объектов транспортного строительства; однообразная архитектура; отсутствие гармоничного единства с природной средой [18].

Эстетика природного ландшафта — красота, индивидуальность местности, ее привлекательность для человека — является видом природного ресурса, необходимого для сохранения психического здоровья и нормального отдыха людей, т. е. рекреационным ресурсом. Изучением процессов формирования ландшафта и взаимодействия с ним жилой среды и транспортных коммуникаций занимается *ландшафтная архитектура*.

Учет особенностей местности при строительстве и эксплуатации транспортных сооружений осуществляется путем реализации задач функционально-пространственной организации среды обитания человека, преобразования природных пейзажей с сохранением их своеобразия; решения эстетических вопросов. Количественные критерии оценки изменения эстетики ландшафтов в связи с осуществлением транспортной деятельности пока не разработаны.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

Воздействие на окружающую среду транспортных объектов происходит на всех этапах их жизненных циклов, начиная от добычи сырья, его переработки (получение материалов), изготовления, использования (эксплуатации), поддержания работоспособности и заканчивая утилизацией конструкций машин, сооружений и захоронением отходов. На каждом из этих этапов происходит отчуждение земель, потребление материалов, энергозатраты, загрязнение воздуха, воды, почвы вредными и токсичными веществами, отходами, виброакустическое и электромагнитное излучение.

Экологический баланс транспортного средства — совокупность всех видов негативного воздействия объекта на окружающую среду при реализации жизненного цикла. Экологический баланс можно представить в виде поточных процессов обмена энергией и веществом, выраженных в виде сумм объемов потребления материалов, выбросов вредных веществ, энергозатрат на каждом этапе жизненного цикла одиночного транспортного средства или сооружения. Количественная оценка экологического баланса важна для определения значимости различных мероприятий по совершенствованию конструкций объектов транспортной техники и технологий на каждом этапе жизненного цикла; а также для обоснования значений показателей при осуществлении их нормирования.

Параметрические загрязнения не могут накапливаться в ландшафтах биосферы, т. е. не обладают аддитивностью и в экологический баланс транспортного объекта не входят. Однако они являются составляющей поточного процесса обмена энергией и поэтому являются предметом рассмотрения в данной главе.

Оценим составляющие экологического баланса через призму используемых технологий на каждом из этапов жизненного цикла транспортного средства и дороги как инженерного сооружения.

3.1. Получение минеральных и энергетических ресурсов

Схема циркуляции (минералооборота) включает извлечение сырья, обработку и удаление примесей, превращение в желаемую форму, производство продукции (изделий), эксплуатацию (использование), превращение в отходы, утилизацию отходов, повторное использование (рис. 3.1).

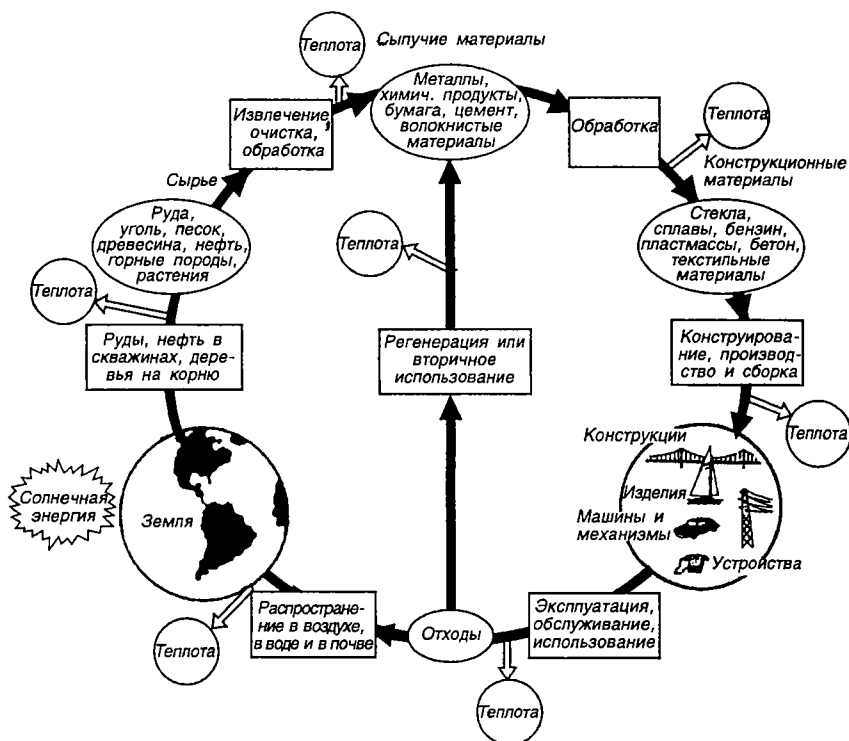


Рис 3.1. Обобщенная схема извлечения и обработки сырья для получения материалов, используемых в ЖЦ транспортных объектов [19]

Сырье (руда, уголь, нефть, газ, песок, древесина, горные породы), используемое в жизненном цикле объектов транспорта, извлекаются с поверхности или из верхнего слоя литосферы.

М и н е р а л — неметаллическое или металлическое твердое вещество, образующееся в земной коре в ходе природных процессов. Неметаллические минералы — соль, глина, силикаты, песок, гравий.

Соединения, содержащие железо, золото, алюминий, медь, — металлические минералы.

Руда — минеральное сырье, содержащее достаточное количество металлов, чтобы их можно было извлечь и продать с получением прибыли. Наблюдаемая тенденция — среднее содержание железа в сырой руде за последние 30 лет уменьшилось с 51 до 35%, а расход сырой руды возрос с 1,2 до 2,0 т на производство 1 т товарной руды [1]. **Горная порода** — образовавшееся естественным путем твердое вещество, содержащее один или более минералов.

3.1.1. Источники воздействия на окружающую среду

Источники загрязнения атмосферы при добыче минеральных ресурсов по времени действия подразделяются на *периодические* (взрывные работы) и *непрерывно действующие* (выделение пыли во время работы механизмов и с пылящих поверхностей).

Поверхностная (открытая) добыча, обработка и использование любого негорючего минерального ресурса вызывает нарушение почвенного покрова, эрозию, загрязняет воздух и воду.

Подземная добыча связана с загрязнением воды (кислотный шахтный дренаж), авариями, образованием отвалов пустой породы, что требует рекультивации земель. Но площадь нарушаемых земель при этом способе добычи в десятки раз меньше, чем при поверхностной добыче. Относительно меньшие затраты предопределяют использование системы добычи руды открытым способом.

В составе аэрозольных загрязнений атмосферы карьеров основной компонент — минеральная пыль. В *рудных карьерах* более 90% горной массы извлекается с использованием буровзрывных работ. Удельное пылеобразование составляет 0,043—0,254 кг пыли на 1 кг взрывчатого вещества. С увеличением расхода взрывчатых веществ в 2 раза удельное пылевыведение возрастает в 6 раз [29]. В *каменных карьерах* основным источником пылевыведения является процесс резки камня. При работе камнерезных машин образуется штыб, который содержит 4—46% (по массе) частиц до 100 мкм. Запыленность воздуха при работе камнерезных машин без средств борьбы с пылью составляет 1500 мг/м³. Другой источник пыли (70—90% по объему) — автотранспорт при транспортировании горной массы. Интенсивность пылевыведения карьерных автодорог зависит от состояния дорожного покрытия, скорости движения автотранспорта и климатических условий. Еще один источник пыли — образование отвалов. Запыленность воздуха при экскаваторном отвалообразовании почти в 2 раза выше, чем при бульдозерном. *Пылящие поверхности на открытых работах* (откосы и площадки уступов

карьеров и отвалов, сухие пляжи хвостохранилищ) — следующий источник образования пыли. Их воздействие на окружающую среду усугубляется большими площадями, которые они занимают при разработке месторождений открытым способом.

Технологический транспорт (автомобильный, железнодорожный) является основным источником загрязнения атмосферы карьеров токсическими веществами, содержащимися в отработавших газах двигателей. Отсутствие естественной вентиляции приводит к тому, что в течение короткого промежутка времени концентрации компонентов отработавших газов многократно превышают предельно допустимые, и карьеры закрывают для проведения профилактических природоохранных мероприятий.

Основными факторами, влияющими на изменение гидрологических условий при разработке карьеров, являются обнажения массивов горных пород горными выработками, вскрытие водоносных горизонтов, предварительное осушение месторождения, карьерный водоотлив, искусственное изменение поверхностного стока, устройство гидроотвалов, шламоохранилищ, сброс карьерных и технических вод. Производство открытых горных работ приводит к снижению уровня грунтовых вод. Депрессионные воронки вокруг глубоких карьеров, подсекающих все водоносные горизонты, распространяются на десятки километров.

Для производства горных работ требуется значительная площадь территории, на которой при открытом способе разработки располагаются карьеры, отвалы, железнодорожные, автомобильные дороги, различные промышленные сооружения. Так, площадь карьера строительных материалов составляет 300—500 га, карьеров по добыче марганцевой руды и угля — 1000—2500 га, железной руды — 2000—3000 га. Глубина рудных карьеров достигает 250 м и более, текущий коэффициент вскрыши составляет 15 т/т добываемой руды. С углублением карьеров текущий коэффициент вскрыши возрастает в 2—2,5 раза. Для размещения вскрышных пород на поверхности требуются значительные территории. При глубине карьеров 500—1000 м площадь породного отвала превышает площадь карьера в 4—7 раз и имеет высоту 40—50 м [29].

Кроме руды в транспортном комплексе широко используются *каменные природные материалы минерального происхождения*, относящиеся к нерудным полезным ископаемым, которые получают из горных пород в результате механической обработки и применяются в естественном виде без выделения из них отдельных минералов. Карьеры для снабжения дорожно-строительными материалами располагаются вблизи мест потребления. К этим материалам относят щебень из природного камня; гравий; щебень из гравия; бутовый камень; песок; декоративный щебень; песчано-гравийные

смеси; щебень и песок из попутно добываемых пород и отходов обогащения горнообогатительных предприятий других отраслей промышленности.

Негативное воздействие на окружающую среду при добыче сырья для производства строительно-дорожных материалов связано и с естественной радиоактивностью каменных природных материалов.

3.1.2. Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду при получении ресурсов

Добыче природных минеральных и энергетических ресурсов, как правило, сопутствуют такие технологические операции, как обогащение руд, извлечение других компонентов и т. д. В результате формируются технологические системы добычи и переработки природных ресурсов. По данным Московского горного университета их можно разделить на *открытые, полуоткрытые и закрытые*.

Открытая система добычи и переработки представляет собой экстенсивный тип, отличающийся низким выходом готовой продукции на единицу минеральных ресурсов, высоким уровнем загрязнения воздуха, воды, накоплением значительных объемов твердых отходов (рис. 3.2, а). При ее использовании не обеспечивается эффективная очистка сбрасываемых газовых, жидких отходов, и выполнение санитарных норм качества окружающей среды достигается за счет разбавления сточных вод и воздушных выбросов в природных водоемах и в атмосфере с надеждой на их самоочищение.

Полуоткрытая система построена на принципах малоотходного производства и предусматривает создание и эксплуатацию очистных сооружений, хвостохранилищ, организацию частичного водооборота в замкнутом производстве, а также выделение в попутную продукцию многих ценных компонентов, сопутствующих основному добываемому элементу (рис. 3.2, б).

Закрытая система предусматривает использование технологий рациональной переработки минерального сырья, которые обеспечивают (рис. 3.2, в):

- комплексную переработку сырья с выделением нескольких полезных компонентов, выход которых может превышать массу сырья за счет применения реагентов и вспомогательных материалов;

- рентабельное выделение минеральных веществ из газообразных и жидких отходов;

- утилизацию рудовмещающих пород в виде удобрений, коагулянтов, строительных материалов;

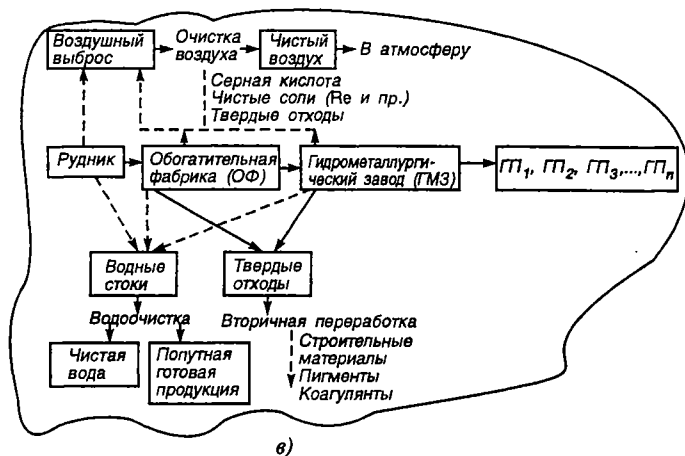
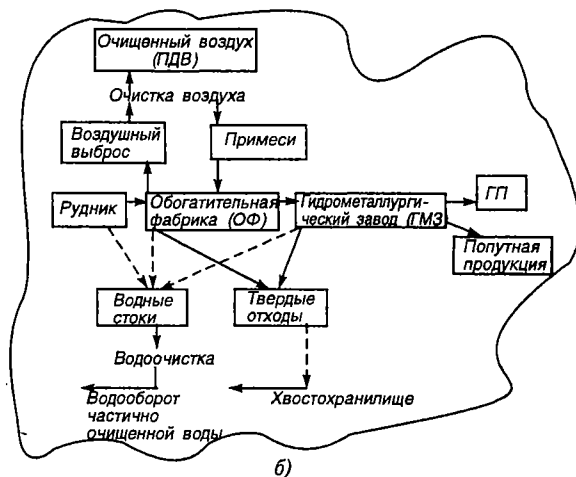
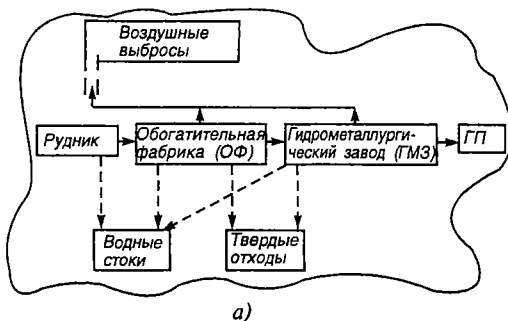


Рис. 3.2. Схемы добычи и переработки минерального сырья в:
а — открытой; б — полукрытой; в — закрытой системах; ГП — готовая продукция

— извлечение ценных компонентов из техногенных твердых минеральных образований;

— переработку бедного минерального сырья и замену процессов обогащения на прямую переработку сырья.

Пример замкнутой системы — добыча и переработка бокситов с получением глинозема и утилизацией красных шламов по серно- и азотнокислотной схемам. Обеспечивается извлечение из сырья урана, скандия, алюминия, получение строительных материалов, коагулянтов и пигментов (сернокислотная схема) или нитратных удобрений и железного концентрата для агломерации (азотнокислотная схема). Выход готовой продукции составляет 100—200% от массы переработанного минерального сырья, обеспечивается получение чистой воды питьевого качества, добыча минеральных веществ из воздушных выбросов.

3.2. Переработка сырья — производство конструкционных, эксплуатационных и дорожно-строительных материалов

3.2.1. Технологические процессы переработки сырья как источники воздействия на окружающую среду

На данном этапе жизненного цикла транспортных объектов основными источниками загрязнения окружающей среды и потребления природных ресурсов (энергоресурсов, руд, металлов, питьевой воды) являются технологические процессы производства черных и цветных металлов, резинотехнических изделий, моторных топлив и масел, дорожно-строительных материалов.

Производство черных металлов. Источниками выбросов вредных веществ при производстве черных металлов являются [21]: машины для обжига окатышей, охладители, грохоты, доменные печи, установки грануляции шлака, коксовые батареи, башни тушения кокса, вагоноопрокидыватели, мартеновские печи, конверторы, электропечи, вагранки, сушильные барабаны (рис. 3.3).

Загрязнение воздуха производится аэрозолями и вредными веществами с дымовыми газами. Коксовые печи, литейное производство, сталелитейные печи являются источниками выбросов углеводородов. В процессе агломерации мелкие частицы оксида железа спекаются в крупные куски для подачи в доменную печь с добавлением доломита и известняка.

В коксовой печи происходит разложение веществ без доступа кислорода с получением кокса для доменного, литейного производства и газа средней калорийности (360 м³/т угля). В процессе нагрева

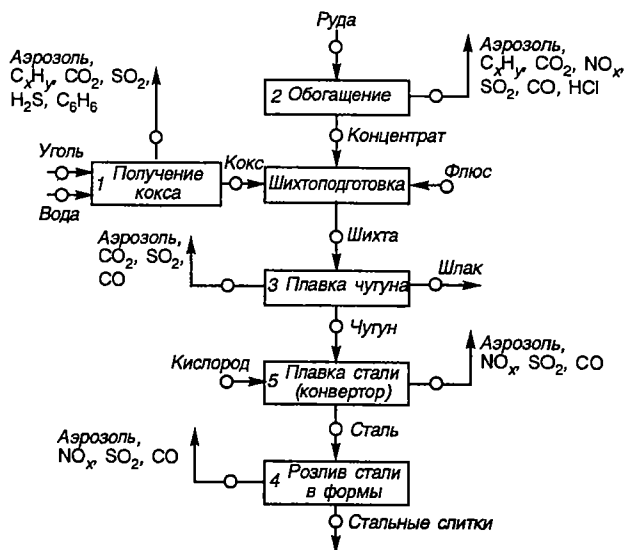


Рис. 3.3. Технологическая схема производства стали и выбросы вредных веществ

уголь теряет 30% массы за счет газификации и образования смолы. Газы частично очищают и используют как топливо. По завершении цикла коксообразования кокс выгружается в приемное устройство и охлаждается водой (1,9 м³/1 т кокса) в течение 90—120 с. Процесс сопровождается выделением водяного пара в объеме 960 м³ на 1 т кокса. В доменной печи для получения 1 т расплавленного металла необходимо загрузить 1,55 т железной руды, 0,5 т кокса, 0,5—0,15 т известняка и доломита.

Выплавка стали кислородно-конверторным способом сопровождается выбросом аэрозолей: при переливании горячего металла — 98,7 кг/т стали, жидкой загрузке металла — 342 кг/т стали, выпуске плавки из конвертора — 507 кг/т стали, разливке стали — 39 кг/т, дутье: нижнем — 986,7 кг/т, верхнем — 506,7 кг/т.

Производство чугунного и стального литья включает плавку черных металлов в печах и разливку их в песчаные формы. После охлаждения литниковую систему и стояки срезают и передают в металлолом для переплавки. Выбросы возникают при переработке этого лома, покрытого песком. После удаления отливки из формы отработанную формовочную смесь повторно используют, добавляя воду и присадки. Получение чугунного литья в вагранках осуществляется из шихты литейного и передельного чугуна, металлолома, из-

вестняка, кокса и сопровождается выбросами CO — 77 кг/т расплавленного металла, аэрозолей — 24,8 кг/т.

Удельные значения выбросов вредных веществ и энергозатраты на отдельных стадиях процесса производства стального литья приведены в табл. 3.1

Таблица 3.1. Удельные выбросы вредных веществ и энергозатраты при производстве стального литья, г/кг продукции

Показатель	Элемент технологической цепи*				Итого
	1	2	3	4+5	
Аэрозоли	6,8	—	35,2	506,7	548,7
CO ₂	233,2	869,6	795,9	—	1898,7
CO	—	678,8	—	1,8	680,6
NO _x	—	1,9	0,03	1,6	3,53
SO ₂	—	21,9	—	0,3	22,2
C _x H _y	8,3	0,3	—	—	8,6
H ₂ S	0,8	—	—	—	0,8
HCl	—	0,03	—	—	0,03
Энергозатраты, кВт · ч/кг	1,8	1,8	10,4	1,1	15,1

* См. рис. 3.3.

Производство цветных металлов и сплавов. Источники загрязнений при производстве алюминия (рис. 3.4): печи спекания глинозема, шаровые мельницы измельчения, печи кальцинации глинозема, электролизеры. Алюминий производят методом рафинирования бокситов до глинозема (процесс Байера) и восстановлением глинозема в электролизерах с самообжигающимися анодами для отделения O₂ от металлического алюминия [21]. В процессе Байера используют концентрированный раствор NaOH для вымывания глинозема из бокситов. Материал бокситов дробят и вываривают в нагретом каустическом растворе. Раствор фильтруют для удаления осадка и остужают. Приготовленный материал фильтруют и кальцинируют для получения оксида алюминия. В процессе Холла—Хэролота алюминий восстанавливается из оксида в электромагнитной ванне, содержащей криолит NaAlF₆, алюмонат натрия NaAlO₂ и фторид алюминия AlF₃.

Электролизеры — стальные ванны с угольными стенками (катадами). Расходуемые угольные аноды являются источниками выброса углерода, реагирующего с O₂, высвобождающимся при электролизе. В электролизерах Содерберга используют цельный анод, полученный введением углеродной пасты, состоящей из смеси нефтяного и угольного пека, в оболочку анода.

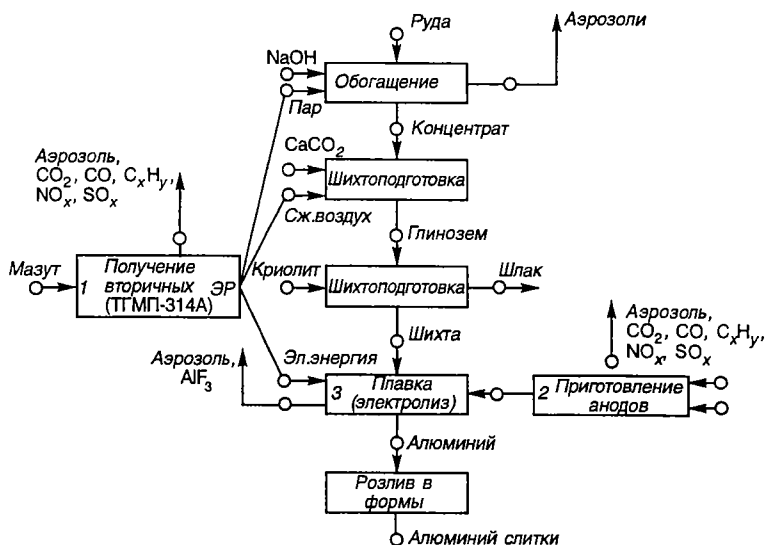


Рис. 3.4. Технологическая схема производства алюминия

Производство алюминия сопровождается выбросами аэрозолей (при размельчении, транспортировке, перевалке), токсичных веществ (процессы горения мазута для получения вторичных топливно-энергетических ресурсов и спекания анодов), фтористых соединений (1 кг/т металла). Запыление происходит от кальцинаторов глинозема и печей для обжига известняка. Задымленность воздуха первичной газоочистки аэрозолями в процессе Содерберга составляет 1—2 кг/т алюминия.

Для производства алюминиевого сырья требуется энергия углеводородного топлива [получение пара (сжигание в котлах), электроэнергии и сжатого воздуха], при сжигании которого выделяются токсичные и вредные вещества. Учитывая, что для получения алюминия требуются большие затраты энергии (табл. 3.2), его производство размещают вблизи гидроэлектростанций и тогда выбросы вредных веществ в атмосферный воздух значительно снижаются. Если вторичные энергетические ресурсы при получении цветных металлов производятся на тепловых электростанциях, работающих на мазуте с содержанием серы 2,3%, то содержание в дымовых газах вредных веществ составляет: SO_2 — 4000 мг/м³, NO_x — 760 мг/м³, аэрозолей — 75 мг/м³, CO — 500 мг/м³, бенз(α)пирена — 10 мкг/м³ [22].

Значения выбросов вредных веществ и энергозатраты при производстве алюминия приведены в табл. 3.2.

**Таблица 3.2. Удельные выбросы вредных веществ
и энергозатраты при производстве алюминиевого литья,
г/кг продукции**

Показатель	Элемент технологической цепи*		Итого
	1+2		
Аэрозоли	2,3	1,5	3,8
CO ₂	1705,2	—	1705,2
CO	15,1	—	15,1
NO _x	22,8	—	22,8
SO ₂	120,1	—	120,1
C _x H _y	0,17	—	0,17
AlF ₃	0,05	1,3	1,35
Энергозатраты, кВт · ч/кг			58,0

* См. рис. 3.4.

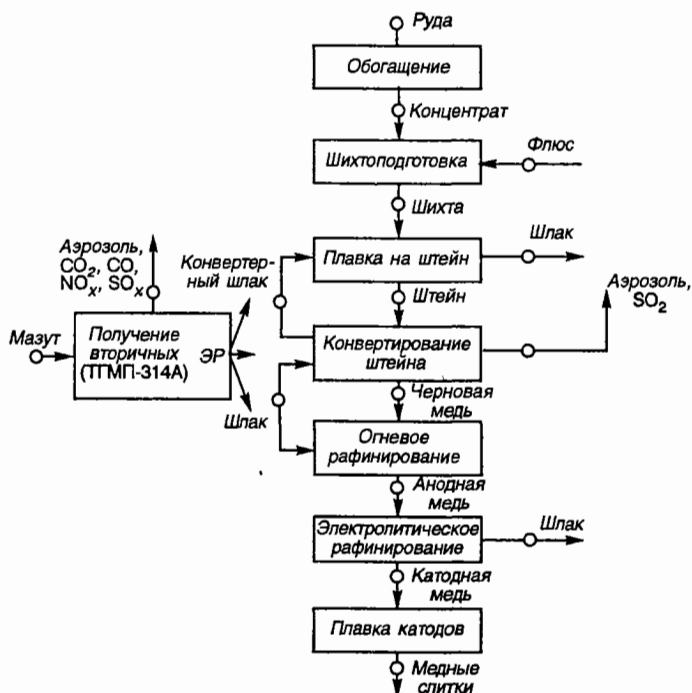


Рис. 3.5. Технологическая схема производства меди

Технология производства меди, свинца [23] также связана с обработкой и обогащением минерального сырья, плавкой в электропечах и разливкой в формы (рис. 3.5) и сопровождается выбросами (%): SO_2 — 1—12, CO — 15. Объем шлаков составляет 15—25 т/ч, расход электроэнергии — 320—400 кВт·ч/т. Выплавка свинца осуществляется в канальной индукционной печи из свинцового агломерата при содержании в уходящих газах SO_2 — 1% и CO — 1%.

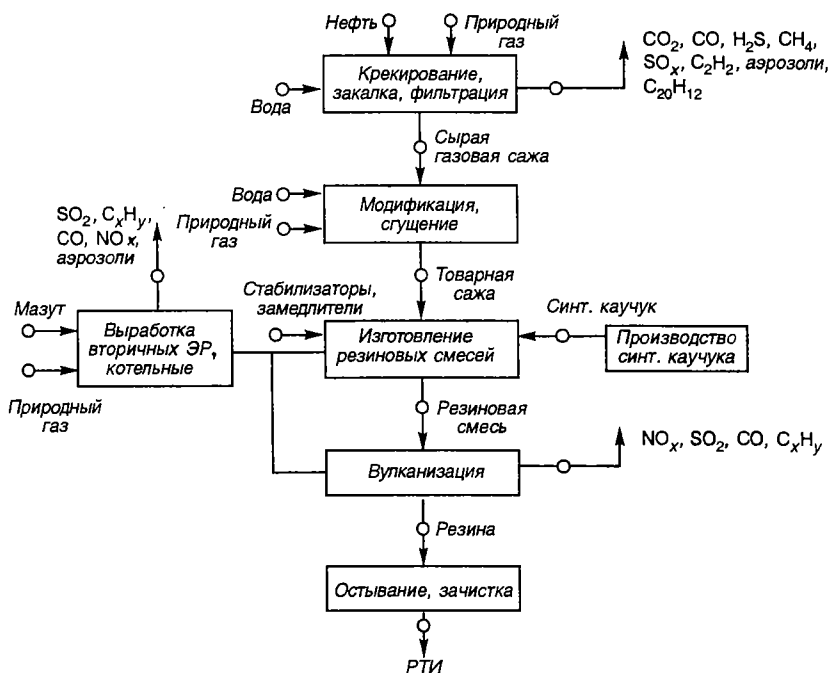


Рис. 3.6. Технологическая схема производства резинотехнических изделий

Производство резинотехнических изделий. При изготовлении резинотехнических изделий (РТИ) используют 30 видов каучуков и 100 разных ингредиентов, растворителей и все технологические операции производства РТИ являются источниками выделений вредных веществ. Изготовление резиновых смесей сопровождается выбросом аэрозолей (C , S , ZnO); нагрев каучуков и резин — изопрена, CO , стирола. Процесс вулканизации сопровождают выбросы NO_x , SO_2 , CO , C_xH_y . В процессах производства РТИ потребляется тепловая энергия, получаемая преимущественно в котельных, в составе дымовых газов которых содержится (%): SO_2 — 66, CO — 24, NO_x —

8, зола — 2. Исходным продуктом для получения РТИ является сажа и синтетические каучуки. Сажа получается в процессе восстановления углерода при неполном сгорании нефти или в процессе термического разложения.

В распространенной технологической схеме производства РТИ (рис. 3.6) используется метод неполного сгорания, выбросы в котором составляют (г/кг сажи): CO — 805—3005; аэрозоли — 2,04—4,04; углеводороды — 74 — 104; SO_2 — 18; H_2S — 5—13. В табл. 3.3 представлены значения удельных выбросов вредных веществ при производстве РТИ.

Таблица 3.3. Удельные выбросы вредных веществ и энергозатраты при производстве резинотехнических изделий, г/кг продукции

Показатель	Процессы производства		Итого
	газовой сажи и каучука	резины	
Аэрозоли	3,6	5520,0	5523,6
CO_2	2500,0	6107,0	8607,0
CO	2301,0	170,2	2471,2
NO_x	—	0,7	0,7
SO_2	21,2	416,4	437,6
C_xH_y	105	47	152
H_2S	10,6	—	10,6
Пары растворителей	—	6138,0	6138,0
Электрозатраты, кВт · ч/кг	22,5	18,5	41

Производство моторных топлив и масел. Моторное топливо (бензин, дизтопливо), масло получается в процессе переработки нефти на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) по технологии, приведенной на рис. 3.7.

Источники выбросов на НПЗ: процессы извлечения серы, регенерация катализаторов крекинга в псевдоожиженном слое, горение топлива в нагревателях и котельных установках, а также потери углеводородов в системах сброса давления, газовой арматуре. В составе выбросов легкие углеводороды CO , SO_2 , NH_3 , альдегиды, цианиды, оксиды азота, коксовая пыль. Выбросы из регенератора составляют (частей на миллион) NO_x — 94—543; аммиак — 0—15; альдегиды — 0,19; C_xH_y — 0—46; цианиды — 0,2; SO_2 — 14—841. Выделение аэрозолей — 0,012—0,3 г/м³. В табл. 3.4 приведены типичные данные по выбросам CO и C_xH_y в процессах нефтепереработки.

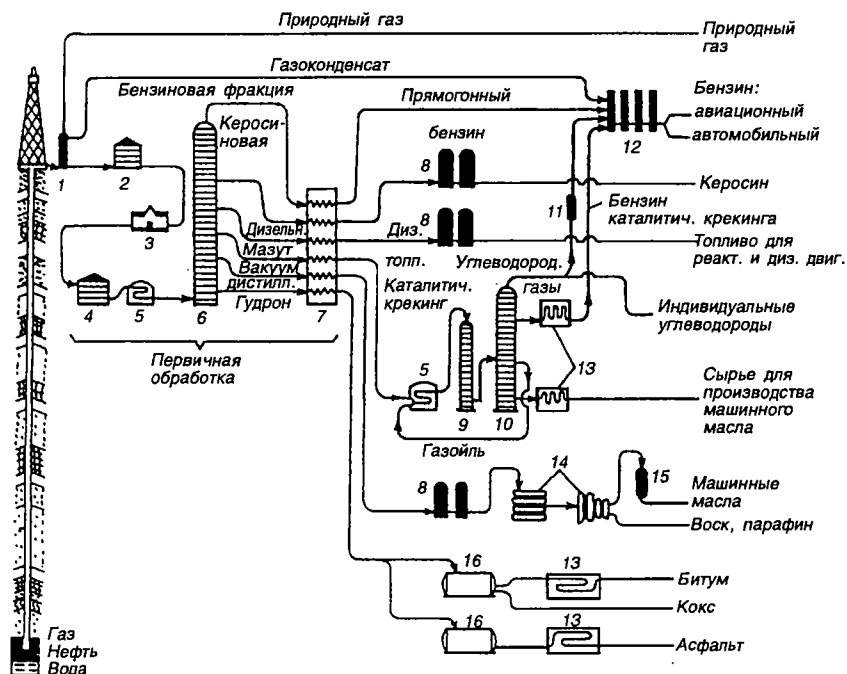


Рис. 3.7. Технологическая схема получения моторных топлив и масел из нефти:

1 — сепаратор; 2 — нефтехранилище (полевое); 3 — насосная; 4 — нефтехранилище (заводское); 5 — трубчатые печи; 6, 7 — ректификационная колонна и конденсирующая установка первичной переработки; 8 — установки химической очистки и легирования; 9, 10 — реакционная камера и ректификационная колонна системы каталитического крекинга тяжелых фракций; 11 — установка по выработке высокооктановых компонентов бензина; 12 — установки для получения бензинов товарных марок; 13 — конденсирующие установки; 14 — установка по депарафинизации; 15 — система фильтров; 16 — перегонные трубы

Таблица 3.4. Выбросы вредных веществ в процессах нефтепереработки, г/т нефти-сырца

Процесс	СО	С.Н _у
Дистилляция нефти-сырца	9,16	9,24
Риформинг сырой нефти	4,92	5,0
Каталитический крекинг	1,82	3,13
Сжигание СО	4,39	2,79
Гидрокрекинг	1,89	8,67
Риформинг и гидрокрекинг тяжелых фракций	4,90	4,96
Получение Н ₂	5,91	5,84
Хранение	—	219,9
Другие источники	6,02	1060,5
Итого	39,0	1330

На среднем НПЗ насчитывается до 1500 трубчатых печей, в которых сжигается 6—8% топлива от общего количества перерабатываемой нефти газомазутными горелками парового распыления, выброс вредных веществ которых составляет (г/кг усл. топл.): SO_x — 1,55—3,98; CO — 0,7—1,56; NO_x — 0,002—0,007; CH_4 — 0,003—0,621. Уровень энергозатрат на НПЗ зависит от состава перерабатываемой нефти, глубины переработки, числа и качества технологических установок, степени комбинирования процессов, географического расположения производства. Массовая доля масел составляет 1,6% объема переработки нефти, а выход светлых нефтепродуктов порядка 38,7% в пропорции между бензином и дизельным топливом 1:1,4.

Используемые на транспорте в качестве моторного топлива сжиженный нефтяной (СНГ) и сжатый природный (СПГ) газы состоят из смеси индивидуальных углеводородов с примесями азота, серы, кислорода и т. д. Для получения газового моторного топлива заданного состава требуется очистка исходного сырья, введение одорантов, компримирование. Эти процессы связаны с утечками углеводородов, затратами энергоресурсов.

Значения удельных выбросов вредных веществ при производстве бензина, дизельного топлива, СНГ, СПГ и моторного масла приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Удельные выбросы вредных веществ при производстве моторных топлив и масел, г/кг продукции

Показатель	Виды топлива и масла				
	Дизтопливо	Бензин	Масло	СНГ	СПГ, г/м ³
Аэрозоли	2,5	3,6	35,9	0,005	0,01
CO_2	489,6	695,5	6955,0	4,0	6,8
CO	10,9	15,4	154,3	0,04	0,06
NO_x	1,3	1,9	19,0	0,05	0,1
SO_2	15,4	21,8	218,1	0,3	0,5
C_xH_y	6,3	8,9	89,2	1,2	0,003
Энергозатраты, кВт · ч/кг	3,5	5,0	49,6	0,14	0,23

В табл. 3.6 приведены результаты оценки значений удельных выбросов основных загрязняющих веществ при производстве материалов, используемых в жизненных циклах объектов транспорта, полученные для типичных технологических процессов на предприятиях черной, цветной металлургии, нефтяной, газовой, нефтехимической промышленности. Максимальные значения выбросов аэрозолей, CO наблюдаются в процессах производства РТИ (5524 и 2471 г/кг) и стальных (чугунных) слитков (548,6 и 1542,8 г/кг); NO_x — при произ-

водстве алюминиевых слитков и моторного масла (22,8 и 19,0 г/кг); C_xH_y — при производстве РТИ, пластмасс и моторного масла (152,0; 85,7; 89,2 г/кг); SO_2 — при производстве медных слитков и РТИ (1120,0 и 437,7 г/кг).

Т а б л и ц а 3.6. Выбросы вредных веществ и энергозатраты при производстве материалов, используемых в ЖЦ АТС, г/кг материала

Материалы	Аэро-золи	CO_2	CO	NO_x	SO_2	C_xH_y	Энерго-затраты
Сталь, чугун	548,6	1898,7	1542,8	3,46	22,15	8,61	15,15
Алюминий	3,82	1705,2	15,08	22,8	120,06	0,17	58,0
Медь	9,24	764,4	83,53	10,22	1122,0	0,08	26,0
Свинец	9,12	676,2	69,45	9,04	194,0	0,07	23,0
Пластмассы	4,85	3550,0	8,75	3,7	61,0	85,7	33,7
Резина	5523,6	8607,0	2471,2	0,69	437,68	52,01	40,99
Лаки, химикаты	2,41	467,28	11,69	1,59	0,2	17,38	7,26
Кислоты	0,01	—	—	—	1,81	—	0,182
Бензин	3,59	695,5	15,43	1,9	21,81	8,92	4,96
Дизтопливо	2,53	489,6	10,86	1,34	15,36	6,28	3,49
СНГ	0,05	4,0	0,04	0,05	0,28	1,2	0,14
СПГ, г/м ³	0,01	6,82	0,06	0,09	0,48	0,003	0,23
Масло	35,9	6955,0	153,4	19,0	218,1	89,2	49,6
Антифриз	3,76	685,18	16,94	2,41	0,3	25,69	4,08

Выбросы соединений свинца происходят при производстве одноименного материала в количестве 0,38 г/кг продукта.

Объемы водопотребления при изготовлении материалов составляют, м³/т готовой продукции:

— металлургия: агломераты для черной металлургии — 8, сталь — 295, алюминий — 1500, медь — 5000;

— нефтехимия: бензин — 10, резина — 2400, пластмассы — 3000;

— энергетика: золоудаление ТЭС — 20—40, получение 1000 мВт энергии на АЭС — 320, сжигание угля — 1000.

Производство дорожно-строительных материалов. Возрастающие объемы и темпы строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог определяют развитие производства дорожно-строительных материалов на камнедробильных заводах, базах по приготовлению органических вяжущих, эмульсий, заводах по переработке гудрона в битум, асфальтобетонных (АБЗ) и цементобетонных (ЦБЗ) заводах, заводах железобетонных конструкций (ЖБК). Базы по приготовлению органических вяжущих используют для хранения и приготовления битумных вяжущих и поверхностно-активных веществ (ПАВ). При приготовлении этих материалов выделяются токсичные, в том числе канцерогенные вещества. АБЗ и ЦБЗ предна-

значены для приготовления асфальто- и цементобетонных смесей, укладываемых в дорожные одежды.

Наибольшие загрязнения атмосферного воздуха происходят на АБЗ, где используются процессы горения углеводородных топлив (мазута, угля, природного газа). Объем выбросов вредных веществ зависит от состава, вида топлива и организации процесса сгорания. Технологии приготовления асфальто- и цементобетонных смесей, сопровождающиеся загрязнением окружающей среды, приведены в табл. 3.7. Атмосферу загрязняют неорганическая пыль, сажа, углеводороды, сернистый газ, оксид углерода, оксиды азота, фенол, смолистые вещества. Сжигание мазута в топках сушильных барабанов сопровождается выделением бенз(α)пирена. Среднесуточная его концентрация в зоне АБЗ составляет 0,004—4,2 мг/м³ (ПДК=0,001 мг/м³). Основное вещество в составе выбросов АБЗ — SiO₂ (40—45% от общего количества пыли), объем которого зависит от типа перерабатываемой горной породы. (В кварцитах 57—92%, в песчаниках 30—75%, в гнейсах 27—74%, в гранитах 25—65%, в известняках 30—37%.)

Т а б л и ц а 3.7. Технологии приготовления смесей и воздействие на окружающую среду

Вид воздействия	Технологические процессы и операции
Выделение пыли	<i>Подготовительные операции</i> Разгрузка исходного сырья, его хранение, дробление, высушивание, перемешивание
Выветривание инертных материалов из складов хранения	Сверхнормативные запасы песка, щебня, технической соли
Загрязнение грунта и воды	<i>Огневые (окислительные) процессы</i> Протечки топлива, масла, битума и несвоевременное их устранение
Загрязнение воздуха токсичными веществами	Работа сушильного барабана, мазутных горелок Несоблюдение регламентов обслуживания циклонов, скрубберов, пылесадительных камер, других очистных устройств
Выделение пыли	Наличие открытых битумохранилищ, площадей открытого грунта
Загрязнение почвы твердыми отходами	Образование твердых отходов и нерегулярный их вывоз на утилизацию и переработку

В рабочей зоне битумоплавильной установки концентрации толуола и стирола могут превышать допустимые в связи с использованием в битуме кубовых остатков ректификации стирола. Наибольшее количество SO₂ образуется при сжигании высокосернистых мазутов. Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу на 1 т асфальтобетонной смеси (по данным МАДИ-ТУ), составляет, кг/т: неорганическая пыль — 15,04; углеводороды — 0,14; диоксид

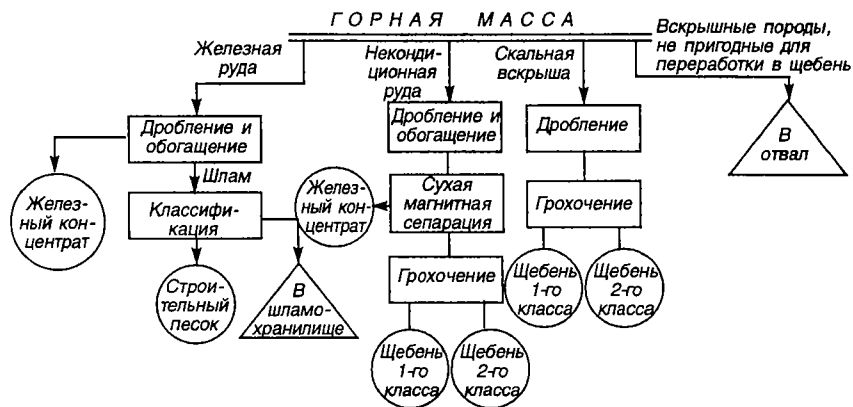


Рис. 3.8. Технологическая схема комплексной переработки горной массы на железорудном обогатительном комбинате

серы — 0,01; оксид углерода — 0,0005; фенол — 0,0004; оксиды азота — 0,000045.

Причины чрезмерного выделения пыли — использование для производства смесей каменных материалов большой запыленности, что приводит к повышенному выносу пыли из сушильных барабанов, перегрузке систем очистки газов и быстрому износу пылеуловителей. Камнедробильные заводы предназначены для измельчения и сортировки материалов, доставляемых с карьеров, получения фракционного материала, щебня необходимых размеров и являются источниками выделения пыли, шума.

Типичные технологические процессы получения строительных материалов приведены на рис. 3.8. При переработке каменных материалов наибольшее пылевыведение возникает при работе дробилок, грохотов и транспортеров питателей (табл. 3.8).

Таблица 3.8. Удельное пылевыведение в технологических операциях получения строительных материалов, кг/т

Технологическая операция	Выбросы при отсутствии подавления	
	Полный выброс	В аэрозольном состоянии
Первичное дробление	0,23	0,045
Вторичное дробление, грохочение	0,68	0,27
Третичное дробление и грохочение	2,7	1,6
Грохочение, транспортировка конвейером, погрузка	0,98	—
Транспортировка по дорогам	0,216—0,6 кг на 1 км перевозки	
Хранение (7—15 дн)	0,15	

Расход энергии на производство некоторых строительных материалов составляет, в МДж/т (1МДж=0,0341 кг условного топлива): строительный песок — 15; щебень природный — 100; товарный бетон класса В25-800; железобетон класса В25-2000 (данные МАДИ-ТУ).

3.2.2. Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду при производстве материалов

Основными мероприятиями по снижению воздействия на окружающую среду на предприятиях по переработке сырья и получению энергоресурсов являются следующие:

1. Поддержание в исправном, герметичном и чистом состоянии аппаратуры и оборудования технологических установок, резервуаров с нефтью и нефтепродуктами, трубопроводов и межцеховых коммуникаций; применение ингибиторов коррозии.

2. Исключение сжигания на факелах газов и использование их в печах технологических установок.

3. Минимальный возврат на переработку некондиционного продукта, предупреждение его получения.

4. Хранение сырья и продуктов под подушкой инертного газа со стационарными крышами и оборудование резервуаров понтонами.

5. Перевод технологических установок с последовательной схемой переработки нефтепродуктов на «жесткую» схему питания сырьем, позволяющую исключить лишние операции по перекачке, охлаждению и последующему нагреву.

6. Создание на крупных предприятиях системы промышленной теплофикации, обеспечивающей максимальное использование вторичных энергоресурсов (теплоты конденсата, пара вторичного вскипания) и сокращение потребления теплофикационной воды от ТЭЦ и котельных.

7. Повышение КПД теплотехнических печей за счет улучшения контроля за режимом сжигания топлива и оснащения их утилизационным оборудованием (котлами-утилизаторами, воздухоподогревателями, экономайзерами).

8. Повторное использование материалов в виде лома черных и цветных металлов, пластмасс и регенерируемых эксплуатационных материалов. Значительная часть этих материалов в виде твердых и жидких отходов выбрасывается.

На предприятиях по производству строительно-дорожных материалов в местах значительных выделений в атмосферный воздух больших объемов твердых частиц и других вредных веществ защита окружающей среды обеспечивается:

— применением эффективных очистных аппаратов и соблюдением регламентов их работы;

— снижением производительности оборудования при особо опасных метеоусловиях;

— сокращением вредных производств.

Перечень мероприятий по снижению выбросов, возникающих при обработке каменных материалов, приведен в табл. 3.9.

Т а б л и ц а 3.9. Источники выбросов при производстве строительных материалов и мероприятия по их подавлению

Источники выбросов	Мероприятия
Погрузка	Смачивание водой
Транспортировка (выбросы частиц при движении транспорта)	Смачивание водой, обработка ПАВ, стабилизация поверхности грунта, дорожных покрытий
Дробление	Системы влажного подавления пыли, захват и вытяжка выбросов на улавливающие устройства
Грохочение	То же
Транспортировка на конвейере (узлы погрузки)	То же
Хранение в отвалах, штабелях	Классификатор для породы, отвальный конвейер, разбрызгиватели воды на разгрузке конвейера, телескопические желоба
Подача конвейером	Защитное покрытие, влажное подавление пыли
Ветровой подъем пыли в отвалах, штабелях	Смачивание водой, ПАВ, защитные экраны
Ветровой подъем пыли с дорог	Промасливание, ПАВ, стабилизация поверхности земли, подметание и уборка дорог

Для снижения *энергозатрат и выбросов* при производстве строительных-дорожных материалов рекомендуются следующие мероприятия:

1. Замена электроподогрева на локальный разогрев (змеевиком) в случае хранения битума в стальных емкостях при тепловой обработке битума на АБЗ дает экономию энергии до 13 МДж/т асфальтобетонной смеси.

2. Хранение минеральных материалов (песка и щебня) в условиях, исключающих воздействие на них погодных факторов (на закрытых складах), способно (по данным С. В. Порадека) уменьшить расход мазута при их сушке на 30—40%, ибо высушивание пористого материала (щебня из известняка, песчаника) от влажности 10% до влажности 1% требует энергозатрат 350—660 КДж/кг.

3. Соблюдение регламента технического обслуживания; модернизация конструкции мазутных горелок обеспечивает уменьшение расхода мазута на 10—15%, т. е. до 8—10 кг на 1 т асфальтобетонной смеси.

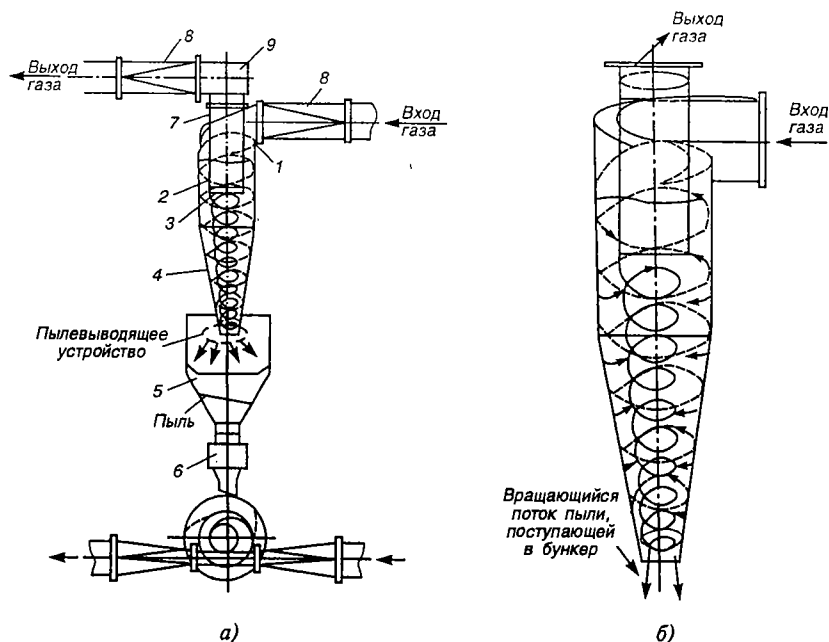


Рис. 3.9. Циклон НИИОГАЗ:

a — устройство: 1 — входной патрубок; 2 — корпус; 3 — выхлопная труба; 4 — конусная часть; 5 — бункер; 6 — пылевой затвор; 7 — винтовая крышка; 8 — переход; 9 — улитка для выхода газа; *б* — схема движения запыленного газа; пунктирная кривая — внешний вихрь; сплошная — внутренний вихрь

4. Использование щебня из изверженных пород, а не из осадочных дает экономию энергоресурсов на сушку в 1,1—1,9 раза.

5. Снижение материало- и энергоемкости машин и механизмов при увеличении их производительности.

6. Использование нетрадиционных экологически безопасных источников энергии при подготовке и приготовлении смесей на АБЗ.

Для очистки воздуха от аэрозолей используются:

— механические обеспыливающие устройства, в которых пыль отделяется под действием сил тяжести, инерции или центробежной силы (пылеосадительные камеры, циклоны) (рис. 3.9);

— мокрые или гидравлические аппараты, в которых твердые частицы улавливаются жидкостью (мокрые циклоны, водяные, пенные фильтры);

— пористые фильтры (тканевые, волокнистые);

— электрофильтры, в которых частицы осаждаются в неоднородном электрическом поле высокой напряженности (рис. 3.10).

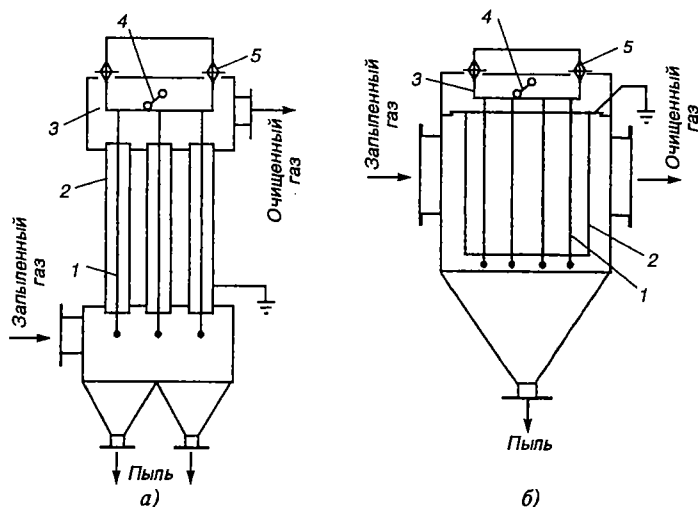


Рис. 3.10. Трубчатый (а) и пластинчатый (б) электрофильтры:

1 — коронирующие электроды; 2 — осадительные электроды; 3 — рама; 4 — устройство для встряхивания электродов; 5 — изоляторы

Целесообразность применения того или иного типа пылеуловителя определяется потребной степенью очистки, а также конкретными технологическими условиями, существующими на предприятии, его экономическими возможностями. Преимущества и недостатки газоочистного оборудования указаны в табл. 3.10.

Таблица 3.10. Сравнительная оценка эффективности использования фильтров

Устройство	Преимущества	Недостатки
Циклон	Непрерывное удаление пыли, удобство использования при высоких температурах, применим при большой и малой запыленности	Не эффективен для улавливания частиц до 5 мкм, чувствителен к изменению скорости прокачки, не улавливает газовые примеси
Электрофильтр	Малый перепад давлений и низкая эксплуатационная стоимость, эффективное улавливание мелких частиц, работает при высоких температурах	Высокие капитальные затраты, чувствителен к скорости прокачки, эффективность зависит от величины налипания частиц
Тканевый фильтр	Высокая эффективность при малых и умеренных перепадах давлений, эффективное улавливание мелких частиц	Температура газа не выше 550 К, волокна восприимчивы к химическим реагентам

3.3. Изготовление (строительство) транспортных средств и инженерных сооружений

3.3.1. Источники загрязнения окружающей среды при изготовлении транспортных объектов

В технологических процессах изготовления транспортных объектов интенсивность негативного воздействия на окружающую среду зависит от объемов производства, характеристик станочного парка и технологического оборудования, массы объекта и номенклатуры используемых в конструкции материалов и других факторов.

Транспортные средства, машины и оборудование. В технологических процессах изготовления транспортных средств расходуются конструкционные и эксплуатационные материалы, выделяются вредные вещества в объемах, которые зависят от номенклатуры и массы этих материалов в конструкции, а также от величин обратимых и безвозвратных потерь материалов при изготовлении деталей, сборке узлов и агрегатов.

Потребление материалов. Масса изделия является основным фактором, влияющим на массу отходов, объем которых определяется технологией производства. В отечественной промышленности только 2/3 металла, поступившего из металлургии, ошестествлено в изделиях. На рис. 3.11 приведены данные о содержании различных материалов в конструкции самосвала, автопоезда, грузового и легкового автомобилей.

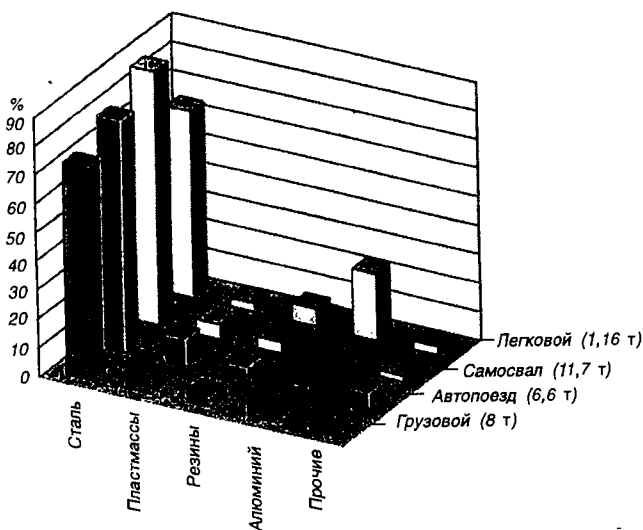


Рис. 3.11. Масса различных материалов в конструкции автомобиля [27, 28]

В конструкции транспортных энергоустановок (ЭУ — включает двигатель с системами охлаждения, подвода топлива, воздуха, удаления отработавших газов, аккумуляторную батарею, стартер и радиатор) содержится от 33,8% (по массе) (бензиновые ЭУ легковых АТС) до 72,7% (автобусные ЭУ на СПГ) черных металлов. Доля алюминия и сплавов в конструкции — от 3,1% (дизельные ЭУ грузовых АТС) до 26,1% (бензиновые ЭУ легковых АТС). Масса топлива в топливном баке (11—27,8%) существенно превышает массу других эксплуатационных материалов (антифриз, масло, электролит). Свинец, сурьма (9—81 кг) сосредоточены главным образом в аккумуляторной батарее.

От массы различных материалов в конструкции транспортного средства зависят обратимые и безвозвратные потери материалов при изготовлении, которые происходят в литейном и кузнечно-термическом производстве, при механической обработке деталей (с учетом припусков на обработку), сборке, окраске и обкатке рассматриваемых объектов.

Обратимые потери в машиностроении (стружка, облои, обрезы и др.) составляют 19%, безвозвратные (окалина и др.) — 2,5%. Расход меди и сплавов, пластмасс, резины, лакокрасочных материалов на технические нужды не превышает 2—10% от массы данных материалов в конструкции.

Выбросы вредных веществ и энергозатраты. Процессы изготовления транспортных средств сопровождаются загрязнением окружающей среды вредными веществами, расходом энергоресурсов. Основными источниками загрязнений воздуха являются металлургические цехи (литейный, кузнечно-прессовый), электростанция (получение вторичных энергоресурсов), внутризаводской автотранспорт, а также участки окраски в прессовом, механообрабатывающем и сборочном цехах, посты испытаний и обкатки двигателей. Часть загрязняющих атмосферный воздух веществ представляет собой испаряющиеся компоненты лакокрасочных материалов, топлива. Водную среду загрязняют гальванические стоки и охлаждающие жидкости механообрабатывающих цехов.

На рис. 3.12 приведены данные об удельных выбросах вредных веществ при изготовлении легкового автомобиля среднего класса сухой массой 1,16 т.

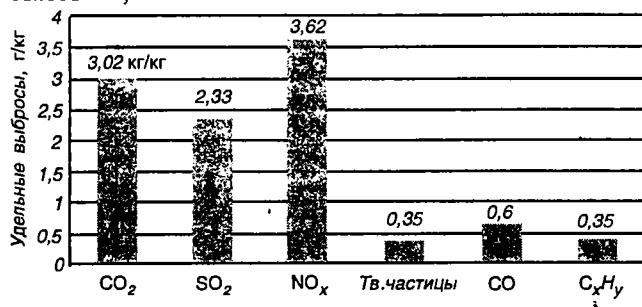


Рис. 3.12. Удельные выбросы вредных веществ при изготовлении легкового автомобиля [28]

Энергозатраты при изготовлении отдельных узлов и сборке данного транспортного средства, бортового грузовика массой 18 т приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11. Энергозатраты при изготовлении транспортного средства

Наименование	Легковой АТС		Грузовой АТС	
	ГДж	%	ГДж	%
Общие энергозатраты	8,06	100	523	100
Ходовая часть	—	—	124	23,7
Производство металлов	3,27	40,6	—	—
Кузов	0,50	6,2	115	22
Трансмиссия	0,86	10,7	28,1	5,4
Комплект колес	2,09	25,9	68,9	13,2
Сборка, окраска	0,65	8	—	—
Кабина	—	—	47,8	9,1
Двигатель	0,32	4	57,8	11,1
Остальные	0,36	4,6	81,4	15,5

Значения удельных выбросов вредных веществ, расхода энерго-ресурсов в процессах изготовления автомобильных ЭУ (рис. 3.13) приведены в табл. 3.12.

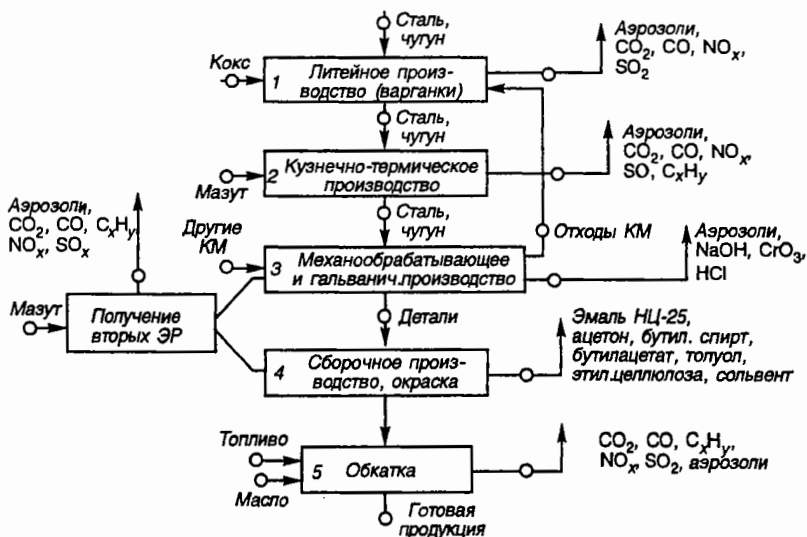


Рис. 3.13. Схема технологического процесса изготовления ЭУ АТС

Т а б л и ц а 3.12. Удельные (на единицу сухой массы) выбросы вредных веществ и энергозатраты при изготовлении автомобильных энергоустановок, г/кг

Выбросы и энергозатраты	Элементы технологического процесса				Итого
	1	2	3	4+5	
Атмосферный воздух					
Аэрозоли	32,2		0,1	—	32,3
CO ₂	280,5	111,2	—	15,2	406,9
CO	77,0	4,2	—	0,1	81,3
NO _x	0,4	0,02	—	0,2	0,62
SO ₂	8,0	10,4	—	1,1	19,5
C _x H _y		1,3	—		1,3
NaOH			0,03		0,03
Сольвент	—	—	—	0,19	0,19
Бутилацетат CH ₃ COO(CH ₂) ₃ CH ₃	—	—	—	0,05	0,05
Оксид хрома CrO ₃	—	—	0,05	—	—
Водная среда (сточные воды)					
Твердые частицы	—	—	0,001	0,03	0,031
NaOH	—	—	0,02	—	0,02
Оксид хрома	—	—	0,036	—	0,036
HCl	—	—	0,162	—	0,162
Лабомид	—	—	0,0002	—	0,0002
Кальцинированная сода Na ₂ CO ₃	—	—	0,005	—	0,005
FeCl ₃	—	—	0,025	—	0,025
Тринатрийфосфат Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O	—	—	0,002	—	0,002
Энергозатраты, кВт · ч/кг	7,26	0,46	0,51	0,17	8,4

Дорожное строительство. Особенность использования нерудных материалов при сооружении автомобильных дорог характеризуется большим разнообразием требований к показателям их качества, обусловленных в первую очередь различием конструкций дорожной одежды (рис. 3.14) [20]. На 1000 м² двухслойного асфальтобетонного покрытия с одиночной поверхностной обработкой расходуется щебня — 506—737 м³, песка — 36 м³ (толщина основания из щебня около 30—35 см) при использовании в качестве материала основания щебня и щебня. На 1000 м² однослойного цементобетонного покрытия на подстилающем слое из песка расходуется песка — 371 м³ и щебня — 190 м³, при двухслойном покрытии — песка 280 м³ и щебня 208 м³.

При сооружении дороги используются экологически значимые технологии, приводящие к различным видам загрязнения окружающей среды (табл. 3.13).

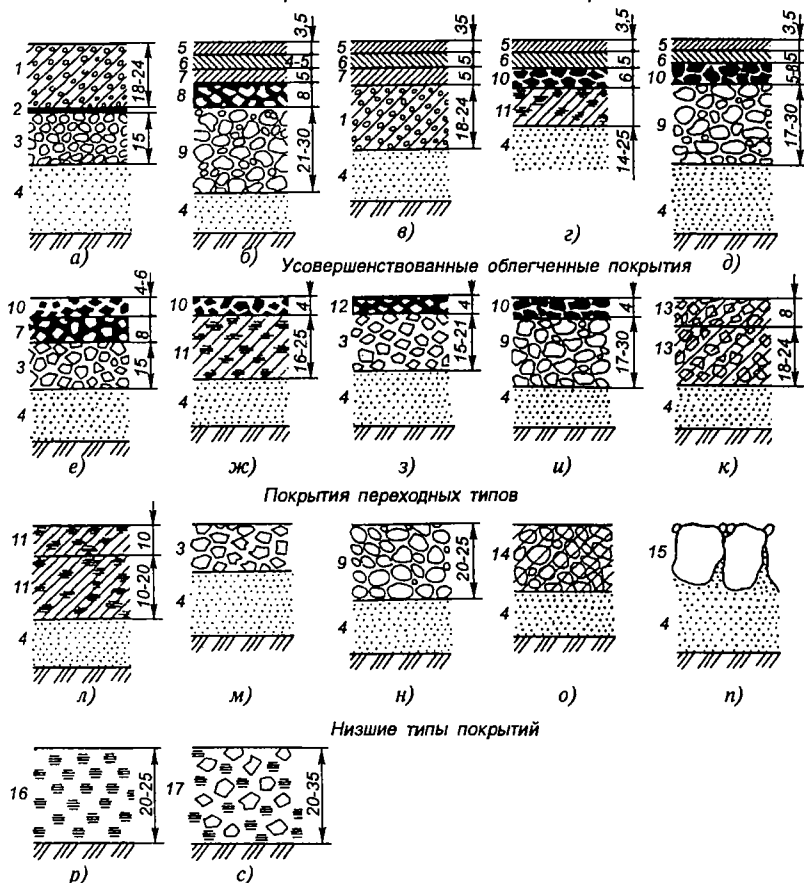


Рис. 3.14. Примеры конструкций дорожных одежд:

a — цементно-бетонное покрытие; *b* — асфальтобетонное покрытие на гравийном основании; *в* — трехслойное асфальтобетонное покрытие на бетонном основании (распространено в городах); *г* — асфальтобетонное покрытие на основании из щебня, обработанного в установке органическими вяжущими, и грунта, укрепленного битумом и цементобетоном; *д* — асфальтобетонное покрытие на гравийном основании; *е* — покрытие из щебня, обработанного органическими вяжущими на щебеночном основании; *жс* — покрытие из щебня, обработанного органическими вяжущими на основании из цементогрунта; *з* — покрытие из щебня, обработанного органическими вяжущими на щебеночном основании; *и* — покрытие из гравийной смеси, обработанной органическими вяжущими на гравийном основании; *к* — покрытие из щебня, укрепленного 6% цемента, на основании из щебня, укрепленного 4% цемента; *л* — покрытие из грунта, обработанного неорганическими вяжущими материалами; *м* — щебеночное покрытие; *н* — гравийное покрытие; *о* — покрытие из гравия, обработанного малыми дозами вяжущих материалов; *п* — бульжная мостовая; *р* — покрытие из оптимальной грунтовой смеси; *с* — покрытие из грунта, укрепленного добавками из щебня, гравия, шлаков; *1* — цементобетон; *2* — прослойка из песка, обработанного органическими вяжущими материалами; *3* — щебеночный слой; *4* — дополнительный (морозозащитный, дренажный) слой основания из песка, гравия, шлака или морозоустойчивых местных каменных материалов; толщина его определяется расчетом; *5* — среднезернистый, мелкозернистый или песчаный асфальтобетон; *6* — крупнозернистый пористый асфальтобетон; *7* — щебень, обработанный органическими вяжущими методом пропитки; *8* — щебень, обработанный органическими вяжущими материалами в установке; *9* — гравийная смесь; *10* — гравийная смесь с добавками щебня, обработанная вяжущими в установке; *11* — грунт, укрепленный добавками неорганических вяжущих; *12* — щебеночное покрытие, обработанное органическими вяжущими методом пропитки (с последующей поверхностной обработкой); *13* — щебень, укрепленный добавками цемента (верхний слой 6%, нижний — 4%); *14* — гравийные покрытия из некондиционных каменных материалов, укрепленных малыми дозами цемента; на покрытие двойная поверхностная обработка; *15* — бульжная мостовая; *16* — грунт, укрепленный песчано-глинистыми добавками; *17* — грунт, укрепленный щебнем, шлаком, гравием и др.

Таблица 3.13. Экологически значимые технологии строительства участка дороги (моста)

Объект	Экологически значимые технологии и виды воздействия на окружающую среду
Дорога	Прокладка трассы в экологически уязвимых районах (расчленение ландшафта, нарушение путей сообщения). Вырубка деревьев и корчевка кустарника, снятие и перемещение растительного слоя, озеленение (эрозия почв, образование пыли, порубочных остатков). Выбор участков для карьеров (учет влияния на ландшафт местности, регламентация глубины и размеров карьера в плане). Рекультивация карьеров (планировка откосов, распределение на откосах и дне растительного грунта, устройство водоемов — отчуждение территорий). Использование горюче-смазочных материалов (ГСМ) (разлив на путях его транспортировки, нагрузки и выгрузки, в местах стоянок и заправок машин). Укладка или монтаж асфальтобетонных смесей в полотно (выделение канцерогенных ПАУ, шум). Укрепление грунтов синтетическими смолами (эпоксидными, фенолальдегидными) (загрязнение придорожных территорий)
Базы дорожной и автомобильной техники	Технический уровень и выполнение регламентов обслуживания машин и механизмов (потери горюче-смазочных материалов). Отсутствие системы ливнеотоков, очистных сооружений, постов мойки техники с замкнутой системой водообеспечения. Наличие открытых поверхностей грунта. Скопление на территории твердых отходов
Мосты	Отсутствие системы ливнеотоков, очистных сооружений. Использование земляных кессонов для подводных работ. Расположение емкостей для хранения ГСМ в защитных бермах. Применение техники с негерметичным оборудованием (разливы ГСМ)

Кроме непосредственного изъятия площадей территории дорожные работы приводят к ухудшению качества земель. Это: а) непланируемые воздействия эрозии и загрязнения, вызванные ошибками при проектировании и строительстве дороги; б) санитарно-защитные полосы, непригодные для жилищного строительства и других видов использования, связанные с постоянным пребыванием людей; в) зоны влияния дорог — малосущественное изменение параметров среды, учитываемое при интегральной оценке ее качества.

На размеры площадей, временно занимаемых резервами, существенное влияние оказывают объемы грунта, необходимого для возведения земляного полотна. В табл. 3.14 приведены показатели объема земляного полотна, изъятие которого в значительной степени осуществляется вдоль дорог [35]. При сооружении земляного полотна в равнинной местности из выемок получают 40% объемов насыпей, в пересеченных — 60%, в горных условиях — 100%. Из боковых резервов строится 20% дорог по общей протяженности.

Т а б л и ц а 3.14. Потребные объемы земляного полотна, тыс. м³/км дороги

Характер рельефа	Категория дороги				
	I	II	III	IV	V
Равнинный	120	50	30	18	10
Пересеченный	190	80	50	25	15
Горный	—	160	100	50	—
В заболоченной местности	150	80	50	25	15

Резервно-технологическая полоса также относится к категории постоянно изымаемых, хотя в ее пределах можно размещать различного рода коммуникации, трубопроводы, а также дорожные защитные насаждения, снегозащитные сооружения. Ее размеры приведены в табл. 3.15.

Т а б л и ц а 3.15. Размеры резервно-технологической полосы

Интенсивность движения	Ширина полосы, м	Площадь полосы, га
Более 3 тыс. авт/сут (I—II кат.)	2×30	6
От 1000 до 3000 авт/сут (III кат.)	2×12	2,4
Менее 1000 авт/сут (IV—V кат.)	2×6	1,2

Кроме того, для снегозащитных насаждений требуется 3,5—5,5 га/км (при объеме снегопереноса 50—100 м³/м) для односторонней и 7—11 га/км для двусторонней защиты, для чего требуются боковые резервы. Площадь боковых резервов укладывается в отвод резервно-технологических полос. Кроме того, необходима дополнительная площадь для временного отвода земель, с вероятным изменением использования их после рекультивации.

Строительство и реконструкция дорог и инженерных сооружений на них связаны с потреблением (истощением) значительных объемов не только природных строительных материалов (песка, щебня), но и битума, металла, краски, термопласта. Удельные (на 1 приведенный км дороги) объемы потребления битума и металла составляют соответственно 610 и 820 кг (данные Росавтодора).

Использование при сооружении полотна местных некондиционных строительных материалов, отходов производства (пиритовые огарки, ртутьсодержащие отходы, каменноугольные дегти, смолы, шламы цветной металлургии и энергетики) загрязняет среду токсичными веществами. Так, содержащиеся в дегтях и смолах толуол, бензол, ксилол, бенз- α -пирен выделяются в атмосферу при остывании асфальтобетонной смеси и создают высокие концентрации их в воздухе

Параметры конструкции дороги как инженерного сооружения оказывают влияние на уровень транспортного загрязнения, т. е. выбросы токсичных веществ, шум, вибрации транспортных средств, движущихся по дороге.

В их числе продольный профиль дороги, поперечный профиль земляного полотна, наличие и ширина разделительной полосы, число полос движения, наличие пересечений дорог разных направлений, вид и состояние покрытия, шероховатость покрытия.

Разделительная полоса на автодороге снижает уровень транспортного шума. Изменение уровня шума на различных покрытиях при их одинаковом состоянии может достигать 7,5 дБА. Наибольший шум возникает на мокром покрытии и на покрытии с шероховатостью более 3 мм (рис. 3.15). Оптимальной с точки зрения шумообразующего фактора является шероховатость в пределах 0,8—1,2 мм, соответствующая покрытию из мелкозернистого асфальтобетона [36]. Из группы дорожных факторов наибольшее влияние на уровень транспортного шума оказывают тип и шероховатость покрытия, число полос движения, а также наличие и размеры разделительной полосы.

Влияние дорожных факторов на величину выбросов токсичных веществ с отработавшими газами транспортных средств исследовано пока недостаточно. По экспертным оценкам вклад дорожной составляющей составляет порядка 10—15%. Сама автодорога является формой рельефа и ее влияние на распространение транспортных выбросов зависит от расположения дороги в выемке или на насыпи (рис. 3.16).

Влияние геолого-географических факторов расположения участка дороги на транспортное загрязнение проявляется следующим об-

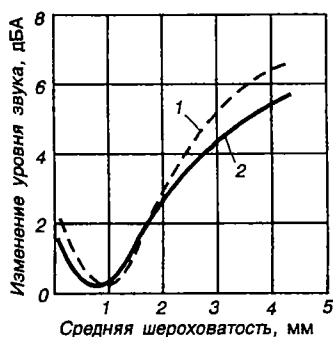


Рис. 3.15. Зависимость изменения уровня шума от средней шероховатости покрытия при движении АТС:

1 — ГАЗ-2410; 2 — ВАЗ-2103

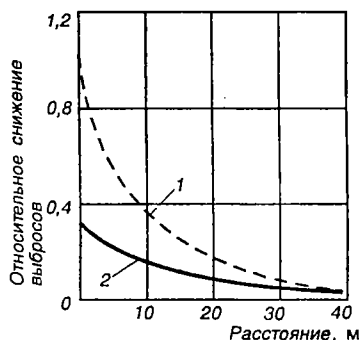


Рис. 3.16. Изменение относительных концентраций транспортных выбросов на разном расстоянии от автомагистрали, расположенной:

1 — на уровне местности; 2 — на насыпи

разом. На поверхности рыхлых грунтов равнинной территории происходит поглощение энергии звуковых волн. Отработавшие газы ветром разносятся дальше, чем в пересеченной местности. Грунтовые откосы, поросшие травой, не только экранируют, но и поглощают звуковую энергию. Поэтому выемка глубиной 6 м, откосы которой укреплены железобетонными плитами, по своей эффективности близка к выемке глубиной 4 м с откосами из грунта, покрытого травой. Дополнительный эффект снижения шума в 4 дБА наблюдается и при наличии снега на откосах.

Процесс строительства участка дороги осуществляется «под открытым небом» на относительно небольшой территории, поэтому технологический транспорт, строительно-дорожные машины, как правило, не создают повышенных концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе.

Энергозатраты при строительстве участка дороги связаны с расходом моторного топлива в двигателях строительно-дорожных машин, а также с расходом энергоресурсов в технологических процессах строительства. Удельные (на единицу толщины дорожного покрытия) энергозатраты при строительстве автомобильной дороги зависят от вида дорожного покрытия и других факторов (асфальтобетон — АБ, асфальт — АС) (табл. 3.16).

Т а б л и ц а 3.16. Удельные энергозатраты
в дорожном строительстве, МДж/т

Вид работы	Морозозащитный слой	Укрепление земельного полотна	Щебёночный несущий слой	Гравийный несущий слой	Битумный несущий слой	Битумный связующий	Битумный слой		Бетонный слой
							АБ	АС	
Добыча материала	15,87	15,87	73,9	16,0	58,1	66,2	90,2	117,7	852
Погрузка материала	5,03	5,03	6,58	6,58	—	—	—	—	—
Транспортировка материала	99,46	99,46	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	129,3	99,5
Распределение материала	0,27	0,27	0,5	0,43	—	—	—	—	—
Уплотнение материала	0,77	0,77	1,55	1,16	—	—	—	—	—
Эксплуатация смесителей	—	—	—	—	259	255	255	286,4	6,19
Распределение и уплотнение	—	—	—	—	17,4	17,4	17,4	4,26	2,71
Перемешивание заменителя	—	49,15	—	—	—	—	—	—	—
Дробление асфальта, МДж/м ²	—	—	—	—	—	—	—	2,48	—
Всего, МДж/(м ² см)	2,79	4,63	3,28	2,23	9,77	10,0	11,6	14,06	26,2

Удельные энергозатраты в технологических процессах строительства приведены к толщине соответствующего слоя дорожного покрытия в 1 см. Эти данные могут использоваться для оценок энергозатрат при строительстве дорог разных категорий при известной толщине каждого из слоев, составляющих дорожное покрытие.

Так, для сооружения 1 м² дороги, имеющей толщину отдельных слоев: морозозащитного слоя грунта — 25 см; укрепленного слоя грунта — 15 см; несущего слоя — 15 см; битумно-связующего слоя — 10 см; слоя асфальта — 10 см расход энергоресурсов составляет 533,5 МДж.

3.3.2. Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду при производстве (изготовлении) транспортных объектов

Транспортные средства. Сокращение объемов *потребления природных ресурсов (материалов)* можно обеспечить при осуществлении следующих мероприятий:

- сокращение обратимых и безвозвратных потерь, применение прогрессивного проката (фасонные и специальные профили), повышение прочностных характеристик материалов, использование антикоррозионных покрытий, совершенствование конструкции, применение металлозаминителей, снижение необоснованных запасов прочности деталей;

- использование перспективных технологических методов упрочнения поверхности деталей;

- унификация;

- повышение использования средств технологической оснащенности;

- совершенствование технологий утилизации технологических отходов;

- повышение стабильности и качества технологических процессов;

- уменьшение расхода запасных частей, повторное использование изделий.

Мероприятия по снижению выбросов и энергозатрат:

- перевод заводской теплостанции с мазута на газ и установка систем нейтрализации оксидов азота;

- уменьшение объема использования вагранок в литейном производстве и применение однофазных дуговых электропечей;

- установка фильтров на травильных ваннах;

- отмена цианидов в гальваническом производстве;

- получение твердых осадков гальванических стоков;

- замена закалочных масел в кузнечном производстве на водные растворы с полимерными добавками;

— использование фильтров при очистке масел и охлаждающих жидкостей в механических цехах.

Мероприятия по снижению *энергетических загрязнений*, возникающих при работе технологического оборудования:

— экранирование с помощью защитных устройств: звукоизоляции и звукопоглощения (кожухи, экраны, ограждения);

— глушение (абсорбционные, реактивные и комбинированные глушители);

— виброизоляция (виброизолирующие опоры, упругие прокладки, конструкционные разрывы); демпфирование (линейные и нелинейные с сухим, вязким или внутренним трением).

В процессе эксплуатации оборудования должны приниматься меры к устранению излишних люфтов и зазоров. Эффективный метод снижения вибрации в источнике — исключение резонансных режимов работы оборудования.

Для снижения вибраций на путях их распространения применяют методы виброгашения, виброизоляции или вибродемпфирования. *Виброгашение* реализуется при увеличении эффективной жесткости и массы корпуса машин за счет их объединения с фундаментами. *Виброизоляция* — установка оборудования на виброизолирующих опорах, в качестве которых используют резиновые или пластмассовые прокладки, цилиндрические пружины, листовые рессоры, пневматические виброизоляторы. В основе процесса *вибродемпфирования* — увеличение активных потерь в колебательных системах, которые создаются специальными устройствами или благодаря свойствам используемых материалов.

Дорога как инженерное сооружение. Мероприятия по снижению негативного воздействия *при строительстве (реконструкции) участка дороги* связаны с:

— использованием перспективных материалов, в том числе геосинтетики, цементобетонных покрытий вместо асфальтобетонных (увеличение безремонтного срока службы до 30 лет), катионных битумных эмульсий и других полимерных композиций в качестве вяжущих;

— сооружением шумозащитных экранов, очистных сооружений, использующих системы биологической очистки, абсорбционные фильтры, габионы, специальных сооружений для предотвращения гибели животных (экодуки, скотопрогоны, ограждения);

— использованием элементов эколандшафтного проектирования и защитного озеленения в придорожной полосе.

Остановимся подробнее на рассмотрении этих вопросов.

Геосинтетические материалы в дорожном строительстве (данные СоюздорНИИ) следует использовать (рис. 3.17):

— при крутизне откосов больше допустимой (геотекстильные обоймы);

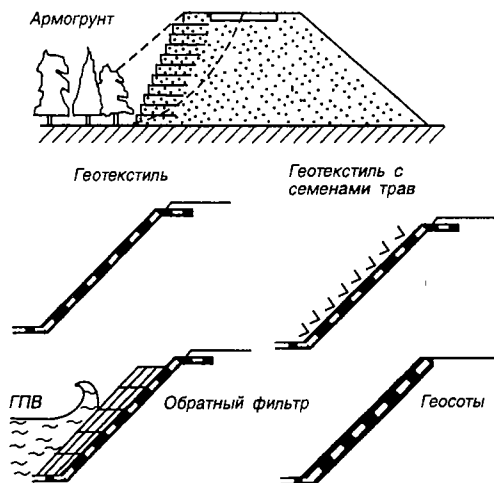


Рис. 3.17. Применение геосинтетики в конструкции дорожных одежд и для повышения устойчивости откосов

переходом искусственного покрытия в биологическое (материал с заделанными семенами). Армирование откосов позволяет увеличить их крутизну, сократить объемы земляных работ и занимаемые территории. Применение геотекстильных сеток позволяет сократить расход материалов на устройство покрытия, облегчает ремонт и содержание дорог и дорожных сооружений. Применение *георешетки* позволяет надежно закрепить грунт на откосах до образования устойчивого дернового покрова (в средней полосе России — 2—3 года), препятствует выносу частичек грунта водой и замедляет скорость течения воды на быстротоках. С помощью георешеток можно создать практически любой дизайн конусов мостов и путепроводов; они технологичны в устройстве укрепений, имеют низкую материалоемкость, не требуют применения машин и механизмов. Укреплению георешетками с различными размерами ячейки подлежат откосы крутизной до 70%; при этом может применяться сотовая конструкция с косым стыком.

Применение геосинтетики и пластиковых решеток целесообразно во всех конструктивных элементах дорожной одежды и земляного полотна (подходные плиты, армирование высоких насыпей, укрепление конусов мостов, устройство водоотводных лотков, укрепление русел ручьев, устройство подпорных стенок). К сожалению, недостаточно изучены вопросы обеспечения долговечности геотекстиля в разных условиях и влияние агрессивных факторов на

— при укреплении откоса и для защиты его от водной и ветровой эрозии (полотно геотекстиля с семенами трав на поверхности свежего откоса или геосоты);

— в конструкции мощных укрепений подтопляемых откосов (геотекстиль применяется в качестве выравнивающего слоя и обратного фильтра).

Технология применения геотекстильных материалов в дорожном строительстве достаточно освоена, не вызывает каких-либо воздействий на среду. *Геотекстиль* открывает возможности быстрой и экономичной защиты с пере-

его разрушение, а также ликвидации и утилизации остатков изношенных или ликвидируемых конструкций с геотекстильными элементами.

Шумозащитные сооружения (экраны) применяются для локализации источников, излучающих энергию, с использованием явлений отражения и поглощения потоков энергии. Уравнение потоков энергии для защитных экранов имеет вид:

$$E_{\text{пр}} = E_{\text{п}} - E_{\text{от}} - E_{\text{пог}} = E_{\text{п}}(1 - k_{\text{от}} - k_{\text{пог}}), \quad (3.1)$$

где $E_{\text{п}}$, $E_{\text{пр}}$ — потоки энергии перед экраном и за ним; $E_{\text{от}}$, $E_{\text{пог}}$ — отраженная и поглощенная часть потока; $k_{\text{от}}$, $k_{\text{пог}}$ — коэффициенты отражения и поглощения. При $k_{\text{от}}=1$ и $k_{\text{пог}}=0$ необходима защита отражением, при $k_{\text{от}}=0$ и $k_{\text{пог}}=1$ — защита поглощением.

Падающие на звукопоглощающую конструкцию звуковые волны вызывают колебания воздуха в узких порах материала. Вследствие вязкости воздуха эти колебания сопровождаются трением и переходом кинетической энергии в тепловую.

К звукопоглощающим относят материалы (стеклянное и базальтовое волокно, минеральная вата), у которых значение коэффициента поглощения $\alpha_{\text{п}} > 0,3$ ($\alpha_{\text{п}} = I_{\text{пог}}/I_{\text{пад}}$, где $I_{\text{пог}}$ и $I_{\text{пад}}$ — соответственно интенсивности поглощенного и падающего звука, Вт/м²). Эффективность защиты экранированием, дБ,

$$\Delta L = 10 \lg E_{\text{п}}/E_{\text{пр}} = 10 \lg 1/(1 - k_{\text{от}} - k_{\text{пог}}). \quad (3.2)$$

Реальная защита экранированием достигается за счет одновременного отражения и поглощения части потока энергии за счет использования специальных материалов, оформленных конструктивно в виде пакетов, стенок, и широко используется при реализации жизненных циклов транспортных объектов.

Шумозащитные сооружения можно классифицировать как:

- вертикальные экраны (вертикальные или наклонные поверхности), различающиеся по высоте (более 6 м, 2—6 м, до 2 м);
- шумопоглощающие или шумоотражающие экраны;
- грунтовые валы и валы, комбинированные с экранами;
- галереи и другие перекрытия проезжей части.

Распространение шума непосредственно через шумозащитное сооружение приводит к снижению эффективности шумозащиты за счет дифракции, поэтому при их проектировании необходимо предусматривать меры, направленные на увеличение потерь при передаче звуковой энергии через сооружение.

Звукоизоляционные качества экрана, построенного из плотного и однородного материала, определяются его массой на единицу по-

верхности, жесткостью и размерами конструкции (данные СоюздорНИИ) и составляют:

Размер снижения уровня звука, дБ · · · · 5	10	12	14	16	18	20	22	24
Удельная масса сооружения, кг/м ² · · 14,5	17	17	17	19,5	22	24,5	32	39

Для практических целей расчета шумозащиты достаточно, чтобы уровни звука, передаваемые через сооружение, были на 3—6 дБА меньше уровней, создаваемых шумом, попадающим в зону акустической тени по пути дифракции. Требуемое условие звукоизоляции достигается увеличением массы сооружения в зависимости от требуемого снижения уровней звука. При определении массы экрана не принимают во внимание опоры или другие элементы, составляющие несущую конструкцию, если только они закреплены жестко с элементами стенки.

Выбор материала и конструкции экрана связаны еще с одним физическим явлением — отражением звуковых волн при попадании на большое или почти плоское препятствие (с радиусом кривизны значительно большим, чем длина звуковой волны), когда звуковые волны отражаются подобно свету. При расположении жилой застройки с одной стороны от автомобильной дороги шумозащитный экран может быть произвольного очертания: отраженный от него звук увеличивает шум только в салонах проезжающих автомобилей. При расположении защищаемых объектов с обеих сторон шумозащитные экраны выполняют либо шумопоглощающую, либо шумоотражающую роль с отклонением звуковых лучей в сторону от жилой застройки. Эффективное отражение звука можно обеспечить не только за счет наклона экрана, но и выполняя конструкцию экрана в виде ступенчатого профиля.

Выбор конструкции, поперечного профиля земляного полотна и материала для строительства шумозащитного экрана необходимо рассматривать в комплексе со стоимостью сооружения и затратами на ремонт и содержание, возможностью механизации работ по содержанию экранов. Высокие шумозащитные экраны (выше 6 м) имеют недостатки, которые препятствуют их широкому распространению: они плохо вписываются в окружающий ландшафт, довлея над движущимися автомобилями и прилегающей территорией. Из-за большой массы экранов требуются громоздкие несущие конструкции, что увеличивает стоимость шумозащитных средств.

Конструкцию шумозащитного сооружения определяют следующие факторы: наличие местных строительных материалов; климатические факторы; безопасность движения и обеспечение необходимого расстояния видимости; эстетические качества; возможность отвода земли под сооружение и обслуживание жилой застройки;

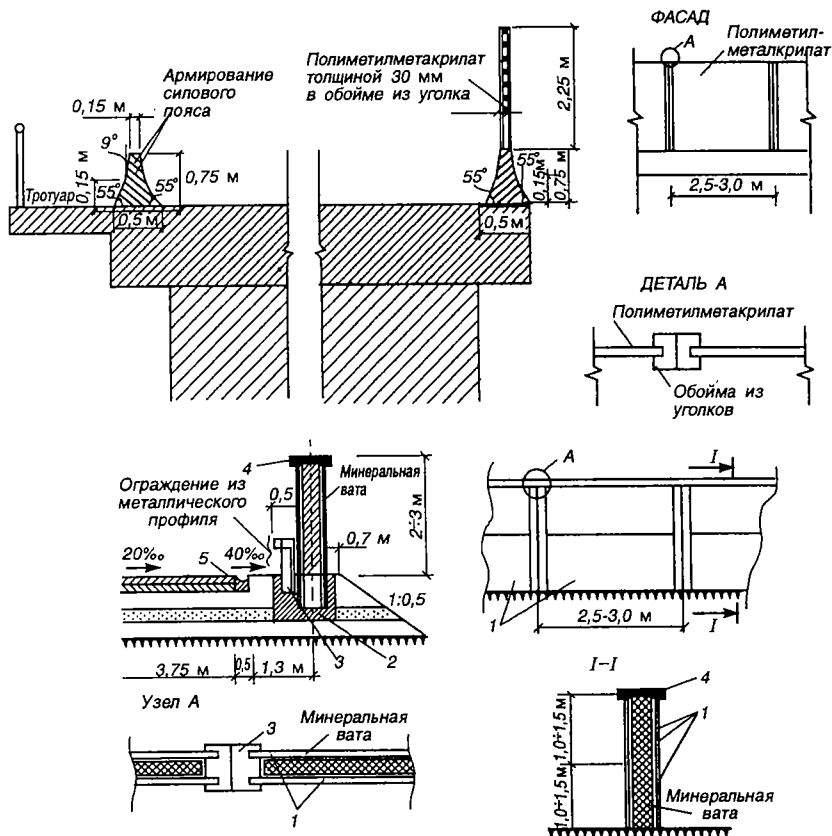


Рис. 3.18. Конструкции шумозащитных экранов:

1 — плоские асбоцементные плиты; 2 — бетонный фундамент; 3 — металлическая стойка, несущая ограждение; 4 — накрывающий элемент из оцинкованной стали; 5 — прикомочный козырек

возможность комбинации шумозащитных сооружений с гаражами или другими объектами. На рис. 3.18 приведены конструкторские решения наиболее распространенных типов шумозащитных экранов [46].

Окружающее пространство и ландшафт являются определяющими при выборе между грунтовыми валами и специальными шумозащитными сооружениями. Везде, где возможно, предпочтение следует отдавать грунтовым валам, так как они хорошо вписываются в естественный ландшафт и более экономичны. Шумозащитные сооружения в большинстве случаев проигрывают им в эстетическом отношении и могут применяться в местах, где невозможно использовать более привлекательные формы.

Для защиты селитебных и рекреационных зон, попадающих под шумовое воздействие реконструируемой автострადы, также используют шумозащитные экраны (рис. 2—5, см. цветную вклейку). Стоймость строительства сооружения зависит от высоты стенки и используемого материала (табл. 3.17) [36].

Т а б л и ц а 3.17. Затраты на сооружение различных типов шумозащитных экранов, долл. США/1 п. м

Высота, м	Вид материала				
	земляной вал	бетон	каменная кладка	металл	дерево
0,3	7,9	32,2	18,4	36,7	21,0
1,5	25,6	136,2	78,4	172,6	94,2
3,0	78,4	267,4	172,6	408,5	188,6
4,6	162,4	456,0	314,3	670,6	335,3
6,1	314,3	602,7	366,8	1163,7	576,4
7,6	466,2	749,0	419,3	1656,8	817,6
9,1	618,1	895,7	471,5	2149,6	1058,7
10,7	768,0	1021,0	524,7	2642,7	1299,9

Наибольший эффект по задержке вредных выбросов (жидких, твердых, газообразных) шумозащитными экранами достигается, если их высота превышает 4 м. Непосредственно за экраном концентрация загрязняющих веществ снижается более чем в 2,5 раза. Но повышается концентрация автомобильных выбросов на дороге, вследствие ухудшения условий проветриваемости. Возникают проблемы с удалением твердых отходов и загрязнений с дорожного полотна и обочин.

Более эффективно защитное действие эколандшафтных мероприятий — *зеленых насаждений*. При их ширине 8—10 м и более снижение концентрации отработавших газов достигается 60%. При этом ветропроницаемость зеленых насаждений не должна превышать 20%. В роли защитных сооружений придорожных территорий растительность используется в виде лесополос или зеленых массивов. При этом большую роль играет видовой состав растительности (рис. 3.19). Растительность, с одной стороны, может поглощать звук в силу растрового эффекта, но с другой, — отражать его в силу наличия объема зеленой массы.

Мероприятия по удалению и *очистке поверхностного стока с дорог* и мостов заключаются в сооружении одновременно со строительством участка дороги или моста прудов-накопителей, фильт-

ров-отстойников, других простейших сооружений, реализующих принципы разделения различных сред, изложенных в гл. 2. На рис. 3.20 приведены инженерные решения по защите поверхностного стока. Однако эти вопросы являются пока малоразработанными. Отсутствуют достоверные методы оценки загрязнения поверхностного стока с дорог низких технических категорий и при малой интенсивности движения на дорогах высоких категорий. Не разработаны дешевые, эффективные, малогабаритные конструкции очистных сооружений поверхностного стока с автомобильных мостов и путепроводов. Не отработаны технологии обслуживания этих защитных сооружений.



Рис. 3.19. Зависимость снижения уровня звука от ширины зеленых насаждений и вида растительности

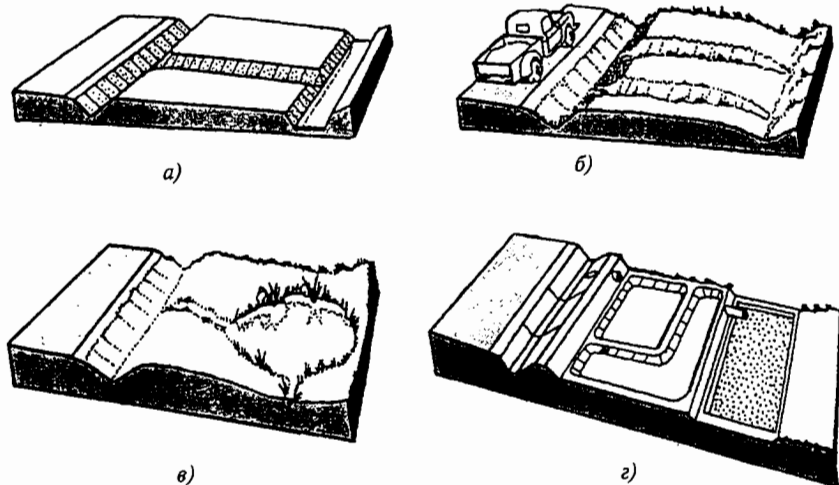


Рис. 3.20. Варианты защиты от загрязнений поверхностного стока [34]:

а — прямое удаление воды с покрытия; б — засев клеветов травой для обеспечения фильтрации; в — применение макрофитов; г — водоотводные (дренажные) слои в дорожной одежде, очистка от нефтепродуктов, водосборные бассейны

3.4. Использование (эксплуатация) транспортных средств и участка дороги

3.4.1. Загрязнение окружающей среды при выполнении транспортной работы и эксплуатации дороги

Транспортные средства. Преобразование химической энергии топлива в работу по перемещению грузов и пассажиров связано с образованием токсических и вредных веществ с отработавшими газами двигателей, продуктов износа шин и антифрикционных материалов, а также потребление в больших объемах моторного топлива и масла.

Только один легковой автомобиль отечественного производства ежегодно потребляет до 1000—1500 кг топлива и до 9—13 кг моторного масла (на угар).

Удельные (на единицу пробега — пробеговые, г/км) выбросы вредных веществ, расход топлива устанавливаются в отдельных фазах движения автомобиля: *при разгоне, движении с постоянной скоростью, замедлении и в режиме холостого хода* или на типизированных маршрутах движения. Количественная оценка удельных (на единицу пробега) расходов топлива и выбросов вредных веществ с отработавшими газами отдельных марок АТС может производиться расчетным путем с использованием алгоритма, в основе которого решение дифференциального уравнения движения АТС.

Уравнение движения автомобиля в горизонтальной плоскости (рис. 3.21, а) имеет вид:

$$m \ddot{x} = -F_c + F_T, \quad (3.3)$$

где F_c — сумма сил сопротивления движению; $F_T = \sum_{j=1}^n x_j$ — сумма тяговых сил на ведущих осях; n — число осей автомобиля.

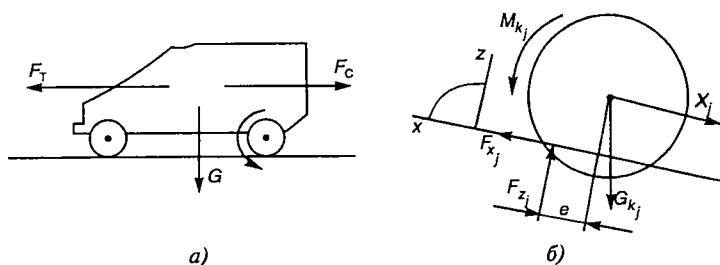


Рис. 3.21. Системы сил, действующих на автомобиль (а), и сил, приведенных к колесу (б)

Система уравнений движения АТС, приведенных к колесу (рис. 3.21, б) в горизонтальной x и вертикальной z плоскостях:

$$m_k \ddot{x}_k = -x_j + F_{xj} - G_{kj} \sin \alpha_d, \quad (3.4)$$

$$J_{kj} \ddot{\phi}_{kj} = M_{kj} - F_{xj} r_j - F_{zj} e_j, \quad (3.5)$$

где α_d — угол подъема дороги; G_{kj} — вес автомобиля, приведенный к j оси; m_k — масса колес; J_{kj} — сумма моментов инерции в плоскости вращения колеса; F_{xj} — сумма сил сопротивления движению в месте контакта с дорогой; F_{zj} — то же в плоскости z (осевая нагрузка); M_{kj} — крутящий момент, приведенный к валу ведущей оси.

Левая часть уравнений (3.4, 3.5), называемая силой ускорения, определяется моментами инерции ведущих колес, связанных, в свою очередь, через массу, передаточные числа в трансмиссии и механические потери с крутящим моментом и частотой вращения коленчатого вала двигателя. Частоте вращения вала и значению крутящего момента двигателя в каждый момент времени (при движении АТС по дороге) соответствуют определенные значения расхода топлива, концентрации токсичных веществ в поле многопараметровой характеристики, полученной экспериментально на установившихся режимах работы и теплового состояния двигателя.

Решая обратную задачу при заданных полях концентраций, удельного расхода топлива двигателя в поле многопараметровой характеристики через уравнение движения (3.4), можно оценить выбросы и расход топлива АТС на единицу пути или транспортной работы. Решая уравнение (3.5) относительно возмущений в вертикальной плоскости, генерируемых неровностями дороги, элементами конструкции автомобиля, можно установить связь амплитуды интенсивности вертикальных перемещений кузова с излучаемой виброакустической энергией. Решая уравнения (3.4 и 3.5) совместно относительно суммарных вертикальных перемещений, вызванных работой двигателя и движением автомобиля по дороге, можно оценить плавность хода (уровень комфорта), а с учетом виброакустического излучения колес и уровень шума одиночного транспортного средства.

В теории автомобиля разработаны упрощенные методы решения уравнений (3.3—3.5), которые строятся на том, что неизвестные уравнения связей заменяются установленными экспериментально зависимостями взаимодействия колеса с опорной поверхностью (силой сопротивления качению и силой сцепления) и величинами нормальных касательных реакций дороги, возникающих в месте контакта шины с дорогой. Для плоской системы приложенных к АТС внешних сил и моментов принимается условие его поступательного перемещения при положении управляемых колес, соответствующем прямолинейному движению. Автомобиль заменяется эк-

вивалентной механической системой материальных точек, состоящей из последовательно движущейся массы всех деталей и массы деталей, находящихся одновременно в поступательном и вращательном движении. Точки системы в каждый момент времени получают равные поступательные перемещения, параллельные поверхности качения.

С учетом того, что при движении АТС по дороге со скоростью v_a сумма всех сил, движущих автомобиль F_T , не меньше суммы сил сопротивления движению F_c , после ряда преобразований уравнение поступательного перемещения АТС может быть представлено в виде:

$$\delta_{вр} m_a g dv/dt = F_T(v_a) - F_c(v_a, v_a^2) - m_a g \sin \alpha_d, \quad (3.6)$$

где $\delta_{вр}$ — коэффициент учета вращающихся масс; m_a — масса АТС; g — ускорение свободного падения; α_d — угол наклона продольного профиля дороги.

Уравнение (3.6) для АТС с механической трансмиссией можно представить как

$$dv_a/dt = (D_a - \Psi)g/\delta_{вр}, \quad (3.7)$$

где D_a — динамический фактор АТС; Ψ — коэффициент сопротивления движению.

Динамический фактор в формуле (3.7) определяется как

$$D_a = (M_{сикп} u_{г\tau} / r_k m_a g) - (\Phi v_a^2 / m_a g), \quad (3.8)$$

где M_c — крутящий момент на валу двигателя; $u_{кп}$, $u_{г}$ — передаточные числа коробки передач и главной передачи; $\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии; r_k — радиус колеса; Φ — фактор обтекаемости АТС.

Коэффициент учета вращающихся масс:

$$\delta_{вр} = 1,04 + (J_d u_{кп}^2 u_{г}^2 / m_a r_k^2), \quad (3.9)$$

где J_d — момент инерции вращающихся масс деталей двигателя. Коэффициент сопротивления движению приближенно можно оценить по формуле

$$\Psi = f_0 + f_1 v_a^2, \quad (3.10)$$

где f_0 — коэффициент сопротивления качению при скорости движения, близкой к нулю; f_1 — коэффициент, определяющий изменение сопротивления качению с увеличением скорости движения.

Мгновенные и интегральные (по времени) значения скорости, ускорения автомобиля, расход топлива, выбросы вредных веществ в отдельных фазах движения и на маршруте оцениваются на основании следующих исходных данных — нагрузочно-скоростных режи-

мов работы двигателя и концентраций компонентов отработавших газов (CO , C_xH_y , NO_x , CO_2 , твердых частиц), расхода топлива в поле многопараметровой характеристики, полученной экспериментально на моторном стенде. На рис. 3.22 приведены зависимости выбросов вредных веществ легковыми АТС с бензиновыми ДВС от скорости движения в режиме $v_a = \text{const}$.

Для оценки расхода топлива (г/ч) в режиме холодного хода бензиновых АТС можно использовать формулу

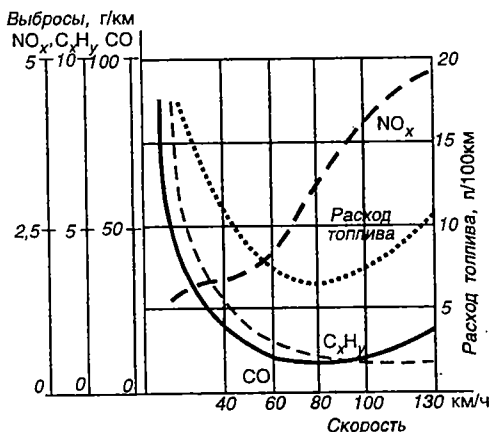


Рис. 3.22. Зависимость удельных выбросов легковых АТС от скорости в режиме $v_a = \text{const}$

$$G_T = 0,1079 + 19683,45P - 3046397,75P^2, \quad (3.11)$$

$$R^2 = 0,9047,$$

где P — комплексный измеритель, отражающий одновременно уровень форсировки двигателя по тепловым, динамическим нагрузкам и материалоемкость конструкции $[\text{кг} \cdot \text{л}/(\text{кВт}^2 \cdot \text{мин}^{-1})]$:

$$P = m_{\text{уд}} / (N_e n / V_h), \quad (3.12)$$

где $m_{\text{уд}}$ — удельная масса, $\text{кг}/\text{кВт}$; N_e , n — номинальная мощность и частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} ; V_h — рабочий объем двигателя, л.

Показатель P составляет для бензиновых легковых АТС — $(0,2-0,3)10^{-4}$, бензиновых автобусов — $(0,4-1,3)10^{-4}$, грузовых АТС и автобусов с дизелями — $(2,0-4,1)10^{-4}$.

Для сопоставления влияния фаз разгона, замедления и движения АТС с $v_a = \text{const}$ на пробеговые выбросы используются коэффициенты:

$$k_p = w_{j, \text{разгон}(i)} / w_{j, v_a = \text{const}(i)}, \quad (3.13)$$

$$k_3 = w_{j, \text{замедл}(i)} / w_{j, v_a = \text{const}(i)}, \quad (3.14)$$

где w_j — удельный выброс j -го вещества при разгоне АТС в диапазоне скоростей $(0-i)$, замедлении в диапазоне скоростей $(i-0)$ или при движении с постоянной скоростью i . В табл. 3.18 приве-

дены значения коэффициентов для разных фаз движения бензиновых и дизельных АТС, классификация которых приведена в табл. 3.19.

Т а б л и ц а 3.18. Значения k разных групп АТС при разгоне (замедлении)

Разгон (замедление) до v_a	Разгон						Замедление				
	группа	Q_r	CO	C_xH_y	NO_x	частицы	Q_r	CO	C_xH_y	NO_x	частицы
20 км/ч	BM1	6,1	13,1	5,2	13,2	—	0,2	0,3	0,3	0,1	—
	BM3	5,3	16,9	5,6	6,3	—	0,2	0,2	0,3	0,04	—
	DM3	4,0	1,3	1,5	5,6	18,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,22
60 км/ч	BM1	4,1	17,8	3,7	6,0	—	0,1	0,06	0,05	0,01	—
	BM3	2,0	6,5	2,9	0,7	—	0,07	0,08	0,16	0,01	—
	DM3	1,5	1,3	0,7	1,3	6,2	0,02	0,09	0,03	0,01	0,02

Т а б л и ц а 3.19. Классификация АТС, принятая в странах ЕС

Группы АТС	Полная масса, кг	Примечания
Пассажирские:		
M1	Менее 2500	До восьми мест
M2	2500—5000	Более восьми мест
M3	Более 5000	Более восьми мест
Грузовые:		
N1	Менее 3500	
N2	3500—12 000	
N3	Более 12 000	

П р и м е ч а н и е. Каждая из шести подгрупп АТС разделяется по виду используемого топлива — бензиновые (В), дизельные (D), конвертированные из бензиновых и работающие на сжиженном нефтяном (СНГ) и сжатом природном газе (СПГ), конвертированные из дизельных и работающие на сжатом природном газе (СПГ-д), а также двухтопливные, работающие на дизельном топливе и сжатом природном газе (ГД).

У бензиновых АТС при *разгоне* существенно возрастают выбросы CO и NO_x , причем с увеличением литража двигателя значения коэффициентов k_p снижаются. Расход топлива и выбросы C_xH_y также возрастают (в 3,5—7,9 раза). У дизельных АТС растут выбросы твердых частиц (сажи) и расход топлива. При *замедлении* значения удельных выбросов снижаются в 3—10 раз. Усредненные значения выбросов и расхода топлива в условиях эксплуатации по отдельным группам транспортных средств приведены в табл. 3.20.

**Т а б л и ц а 3.20. Выбросы вредных веществ и расход топлива
одиночных АТС в условиях эксплуатации (ездовые циклы
по ГОСТ 20306-90), г/км**

Тип АТС	Классификация	Q, л/км	Выбросы вредных веществ						
			CO	NO _x	C _x H _y	Тв. частицы (сажа)	CO ₂	SO ₂	Соединения свинца
Пассажирские транспортные средства									
Бензиновые	BM1	0,092	12,4	1,9	2,1	—	199,1	0,14	0,024
	BM2	0,191	40,2	1,3	3,1	—	382,9	0,27	0,045
	BM3	0,543	140	12,7	8,2	—	1141,7	0,82	0,135
Дизельные	DM1	0,067	3,1	5,6	1,1	0,18	154,6	0,53	—
	DM2	0,109	1,6	2,0	0,4	0,35	251,3	0,87	—
	DM3	0,408	7,1	11,2	4,7	0,96	1150,7	3,96	—
Газовые	CHГ M1	0,078	3,1	0,7	1,8	—	205,3	0,02	—
	CHГ M2	0,123	10,0	0,5	2,9	—	321,4	0,02	—
	CHГ M3	0,283	33,9	4,6	7,6	—	741,3	0,05	—
	CHГ6M3	0,65*	69,8	34,1	19,9	—	1289,8	1,26	—
	ГД M3	13**	49,0	16,4	42,2	0,39	842,5	0,59	—
Грузовые автомобили									
Бензиновые	BN1	0,135	39,6	3,0	4,0	—	276,8	0,2	0,033
	BN2	0,367	118,5	10,1	10,7	—	725,6	0,52	0,086
	BN3	0,673	113,8	16,4	7,1	—	1259,3	0,9	0,149
Дизельные	DN1	0,075	5,1	8,3	1,6	0,36	173,1	0,6	—
	DN2	0,265	9,2	8,4	2,0	1,49	666,1	2,3	—
	DN3	0,457	15,9	19,5	4,8	1,06	1032,0	3,6	—
Газовые	CHГ N1	0,11	9,3	1,1	3,4	—	289,1	0,02	—
	CHГ N2	0,217	28,4	3,5	10,4	—	569,8	0,04	—
	CHГ6N2	0,30*	37,9	15,3	13,1	—	590,0	0,58	—
	ГД N3	12**	54,8	14,6	49,8	0,375	795,1	0,56	—

* м³/км.

** МДж/км.

Выбросы CO газовыми АТС существенно ниже, чем бензиновыми. Применение СНГ позволяет снизить выбросы NO_x и C_xH_y, в то время, как при использовании СПГ (существующие образцы техники) наблюдается рост удельных выбросов этих веществ. Использование газодизельного цикла приводит к заметному росту CO и C_xH_y, но снижению выбросов NO_x и твердых частиц. Выбросы CO грузовыми АТС и автобусами с бензиновыми ДВС в 5,4—6,5 раза больше, чем у дизельных аналогов. Однако у последних больше выбросы NO_x (в 2,7 и 1,9 раза), твердых частиц и SO₂.

Оценку расходов топлива Q_s (кг/100 км) и моторного масла Q_m (г/100 км) бензиновых АТС в эксплуатационных условиях (на основании результатов обработки выборки из 29 объектов) можно осуществить по формулам

$$Q_s = 3,36 + 16,149 \cdot 10^4 P + 10,277 \cdot 10^8 P^2, \quad (3.15)$$

$$R^2 = 0,79,$$

$$Q_m = -7,91 + 1280,9 \cdot 10^8 P^2, \quad (3.16)$$

$$R^2 = 0,68.$$

Уровень выбросов зависит от природно-климатических факторов, технического состояния агрегатов (отклонение регулировочных параметров от допустимых в результате износа и неисправности систем) и др. При низких температурах (250 К) наблюдается рост выбросов CO и C_xH_y в 3—4 раза, выбросы NO_x практически не меняются. При выработке моторесурса из-за износа двигателя выбросы CO, C_xH_y , сажи возрастают в 1,5—2 раза, а выбросы NO_x снижаются на 25%.

Зависимости изменения выбросов, расхода топлива на разных пробегах АТС с начала эксплуатации по мере выработки ресурса двигателя (износа деталей цилиндро-поршневой группы, топливоподающей аппаратуры, нарушения заводских регулировок) имеют вид:

$$k_{wj} = A_0 + A_1 L_a + A_2 L_a^2 + A_3 L_a^3, \quad (3.17)$$

где k_{wj} — изменение пробеговых выбросов j -го вещества АТС в процессе эксплуатации по сравнению с базовыми (новые АТС), %; L_a — пробег АТС с начала эксплуатации, тыс. км; $A_{0,1,2,3}$ — параметры в уравнении регрессии, значения которых приведены в табл. 3.21.

Увеличение расхода моторного масла ΔV_m (л/1000 км) на угар из-за изменения зазора между поршневыми кольцами и канавками поршневой головки в зависимости от пробега АТС с начала эксплуатации может быть определено по формуле

$$\Delta V_m = 2,814 \exp(0,0091 L_a), \quad (3.18)$$

$$R^2 = 0,953.$$

Т а б л и ц а 3.21. Значения коэффициентов в уравнении (3.17)

Наименование	A_0	A_1	$A_2 \cdot 10^{-6}$	$A_3 \cdot 10^{-6}$	R^2
CO	100,73	0,16	357,69	-0,87	0,999
C_xH_y	101,04	0,079	646,25	0,43	0,999
NO_x	97,92	0,015	-1174,42	1,12	0,989
Сажа	99,28	0,284	911,29	0,94	0,999
CO ₂ , SO ₂ , Q _s , P _b	99,999	0,2	-0,03	0	1,0

Выбросы вредных веществ (CO_2 , CO , C_xH_y , NO_x , SO_2 , сажи, соединений свинца), расходы топлива и масла в зависимости от срока службы (пробега АТС) за период выработки ресурса определяются по формуле

$$W_j = w_j L_a k_w / 100, \quad (3.19)$$

где w_j — удельные (на км пробега) выбросы одиночных АТС (новых), г/км.

Если не учитывать влияние технического состояния двигателя по мере выработки ресурса на выбросы и расход, то значения выбросов CO_2 , CO , C_xH_y , сажи при выполнении *транспортной работы* оказываются заниженными соответственно в 1,2—2 раза, расход масла — в 3 раза, но NO_x — завышенными в 1,1—1,6 раза.

Выход *резиновой пыли* при эксплуатации в зависимости от типа и пробега транспортных средств (данные МАДИ-ТУ) составляет 1,35—53,2 кг/авт в год (для легковых автомобилей — 1,35; грузовых — 17,1; автобусов — 53,2), а асбестосодержащей пыли (до 30% асбеста) от износа тормозных накладок 0,8—1,5 кг/авт в год.

Эксплуатация дорог, мостов, путепроводов. В процессе эксплуатации дороги наибольшей трансформации подвергается верхний поверхностный слой земли — природный ресурс, включающий почву и географическое пространство с определенными координатами и социально-экономическим потенциалом.

П о ч в а (по В. И. Вернадскому) — биокосное тело природы, занимающее промежуточное положение между биологическими организмами и косными телами (горные породы, минералы). Является гигантской экологической системой, активно участвует в круговороте веществ и энергии в природе, поддерживает газовый состав атмосферы. Важнейшее свойство почвы — плодородие (способность обеспечить рост и размножение растений) нарушается в результате антропогенной деятельности: выпас скота, вспахивание, выращивание монокультур, уплотнение, нарушение гидрологического режима (уровня грунтовых вод), загрязнение. В связи с тем, что почва — это основа биологического круговорота, она становится источником миграции загрязненных веществ в гидросферу, атмосферу, в продукты питания (через растения и животных). Строительство дороги в результате указанных выше причин приводит к снижению плодородия почв.

Наращение износа дорожной одежды (мм/год) под действием транспортных средств и распространение твердых частиц износа вблизи дорог, являющихся главным источником снижения плодородия почв, выражается зависимостью

$$И = A + BT, \quad (3.20)$$

где A — износ от влияния атмосферных факторов (выветривание), мм; B — параметр, зависящий от конструкции дорожной одежды, состава транспортного потока и скорости движения, мм/млн. т; T — среднегодовая суточная грузонапряженность движения, млн. т [13].

Для покрытий разных типов A и B имеют следующие значения:

Тип покрытия	A	B
Асфальтобетонные	0,4—0,6	0,25—0,55
Усовершенствованные щебеночные и гравийные	1,3—2,8	3,5—6,0
Щебеночные	4,5—6,5	15—25
Гравийные	3—6	20—30

Меньшие значения относятся к менее прочным каменным материалам. Грунтовые дороги без покрытий имеют износ поверхности 5—10 см за сезон. С каждого километра такой дороги уносится ветром по 350—700 м² пыли ежегодно. Пыль оседает в подветренной полосе шириной до 500 м.

В первые два-три года эксплуатации асфальтобетонных покрытий износ происходит за счет истирания с образованием пылевидных частиц порядка 10 мкм, далее происходит шелушение и выкрашивание с размером частиц 100 мкм и крупнее. Максимум этот процесс достигает через 5—7 лет эксплуатации. Износ (мм/год) асфальтобетонных покрытий (по М. Б. Корсунскому) определяется из выражения

$$Z_{\pi} = a + 0,85bN_{\text{ап}}/1000, \quad (3.21)$$

где Z_{π} — средняя толщина уменьшения слоя покрытия за год, мм; a — коэффициент, равный для условий центральных областей России 0,45; b — коэффициент сопротивления истиранию асфальтобетона; $N_{\text{ап}}$ — интенсивность движения, прив. авт. в сутки.

Ветровые наносы минеральных частиц при отсутствии смыва с обочин и откосов, а также наносов с других дорог составляют порядка 3 т/га в год [25].

Из общего количества твердых частиц 25% остается до смыва на проезжей части и 75% распределяется на поверхности прилегающей территории, включая обочины. Количество (кг/м²), вынесенных с проезжей части на придорожную полосу продуктов износа покрытий, определяют по формуле

$$G = \left[\frac{Z_{\pi} \cdot 10^{-3} B \rho}{2l(1 + k_h)} \right], \quad (3.22)$$

где B — ширина проезжей части, м; ρ — плотность материала покрытия, кг/м³; l — расстояние до оси полосы движения; k_h — коэффици-

ент, зависящий от возвышения проезжей части над окружающей местностью:

Возвышение, м	<1	1—2	2—4	4—6	6—10	>10
Коэффициент k_h	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9

Как отмечалось, загрязнения, собранные машиной при подметании дорожных покрытий, называются *смётом*. В составе смёта находится до 30% частиц пыли (размером 100—150 мкм). Смёт с размером частиц 1—20 мм имеет следующий гранулометрический состав (данные НИИ Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Панфилова):

Размеры частиц, мм . . .	до 1	5	10	15	20
Масса смёта, %	8,7—17,7	1,4—6,1	0,9—4,7	0,2—2,9	0,5—4,3

Наибольшую опасность в составе смёта представляет пыль с размером частиц менее 100 мкм (1 мкм = 10^{-6} м).

Концентрации (г/м³) тяжелых металлов в почве на разном расстоянии от кромки дорожного полотна описываются зависимостью

$$c=c_0L^{-b}k_hk_v, \quad (3.23)$$

где c_0 — концентрация загрязнителя в почве вблизи кромки дорожного полотна; b — показатель рассеивания ($b=0,42$ — средняя полоса России); k_h, k_v — коэффициенты, учитывающие возвышение проезжей части над окружающей местностью и направление, скорость ветра; L — расстояние от оси дороги.

Оценка загрязнения (мг/кг) придорожных земель свинцом осуществляется по формуле

$$m_c=m_n/hr, \quad (3.24)$$

где m_c — масса свинца в поверхностном слое почвы; m_n — масса свинца на поверхности земли, мг/м²; h — толщина почвенного слоя, в котором распределяются выбросы свинца: на пахотных землях — 0,2—0,3 м, остальных видах угодий — 0,1 м; ρ — плотность почвы, кг/м³.

Значительным источником загрязнения поверхностных и грунтовых вод являются химические реагенты, используемые для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах I—III категорий. Это пескосоляные смеси, в которых хлористые соединения (NaCl, CaCl₂) составляют до 10% по объему. Хлорид кальция на 40% эффективнее. Добавление к песку только 3% хлорида кальция увеличивает коэффициент сцепления до 0,22, а 4,5% — до 0,27. Из-за более высокой стоимости, трудностей хранения и перевозки доля его в смеси составляет не более 3—5%.

В соответствии с рекомендациями ГипродорНИИ расход хлоридов на зиму не должен превышать 2 кг на 1 м² покрытия во

второй дорожно-климатической зоне и 1,5 кг/м² в третьей зоне. Поэтому на 1 км дороги I—III категорий расходуется за зиму 25—30 т хлорида натрия. Применение противогололедных смесей на магистралях ведет к повышению содержания водорастворимых солей (хлоридов кальция и натрия) в почве на 2—3 порядка, загрязнение грунтовых и поверхностных вод, угнетение растительности, коррозию покрытия, арматуры, металлических частей транспортных средств, элементов ограждений, подземных коммуникаций.

Загрязнение воды и поверхности происходит и в случае использования обеспыливающих веществ. В табл. 3.22 приведены данные о расходе обеспыливающих материалов и продолжительность их действия при содержании автомобильных дорог [26].

Т а б л и ц а 3.22. Объем загрязнения окружающей среды обеспыливающими материалами, л/м² покрытия

Материалы	Расход материала на 1 м ² покрытия			Срок действия, сут
	гравийного	щебеночного	грунтового	
Гигроскопические				
Хлорид кальция, технический, кг	0,8—0,9	0,6—0,7	0,9—1,0	20—40
Техническая поваренная соль (в виде 30%-го раствора)	2,4—3,0	2,0—2,6	3,4—4,0	15—20
Вода морская или соленых озер	1,5—2,0	1,3—1,8	2,0—2,5	3—5
Вода техническая	1,0—2,0	0,5—1,5	1,5—2,5	0,04—0,12 (1—3 ч)
Органические				
Лигносульфонаты технические (50%-е растворы)	1,2—1,6	1,0—1,4	1,6—2,0	20—30
Жидкие битумы и дегти	0,8—1,0	0,7—1,0	1,0—1,2	30—90
Битумные эмульсии	1,2—1,5	1,0—1,3	1,5—2,0	30—90
Сырые нефти	0,8—1,0	0,7—1,0	1,0—1,2	30—90

Значительное воздействие оказывают на окружающую среду нефтепродукты, образующиеся в результате утечек из транспортных средств, резервуаров или в случае поломок на маршруте. Известно, что 1 т нефти способна образовывать сплошную пленку площадью 2,6 км² (одна капля — соответственно около 0,25 м²).

Загрязнения стоков [т/(км·год)] с проезжей части нефтепродуктами (в их состав входит до 0,5% ароматических углеводородов), включая потери груза (по Н. П. Орнатскому) определяется по формуле

$$Q = N_{\text{ап}} 10^{-4} k_0 0,5 P_d w_n, \quad (3.25)$$

где $N_{\text{ап}}$ — среднегодовая интенсивность движения, прив. авт. в сутки; k_0 — коэффициент условий движения: свободное — 1, уклон более 40 — 2, пересечений более одного на км — 1,5; P_d — число полос движения (больше двух); w_n — удельный выброс (т/км) нефтепродуктов в воду и почву (при интенсивности 10 тыс. авт/сут) — 0,25 т/км.

В результате загрязнения дождевого стока указанными выше источниками концентрация примесей с дорожного полотна может достигать чрезмерных значений, значительно превышающих санитарные нормы (табл. 3.23).

Т а б л и ц а 3.23. Концентрация загрязняющих веществ дождевого и талого стока с дорог, мг/л [14]

Характер водосборного бассейна	Дождевой сток		Талый сток	
	взвеси	нефтепродукты	взвеси	нефтепродукты
Центр города со сложившейся застройкой, высокой степенью благоустройства, умеренная интенсивность движения	400—600	7—12	1300—1600	10—12
Новый благоустроенный район жилой застройки со средней интенсивностью движения	700—1000	10—15	1500—1700	12—15
Преобладание промышленных, складских территорий с интенсивным движением транспорта	800—1200	12—20	2000—2500	12—20
Современные автомагистрали	800—1000	15—20	2500—3000	20—30

Она зависит от интенсивности выпадения осадков, продолжительности периода сухой погоды и предшествующего дождя, частоты уборки улиц, интенсивности движения автотранспорта, степени благоустройства территории, наличия и профиля предприятий. Помимо указанных загрязнителей в дождевом и талом стоке присутствуют биогены (соединения азота — 5—6 и фосфора до 1 мг/л) и бактериальные загрязнения. Концентрация органических веществ в дождевом стоке составляет 40—90 мг/л, а талого стока 70—150. По величине загрязнений талый сток с транспортных магистралей и с территорий, прилегающих к промышленным предприятиям, сопоставим с городскими сточными водами. Кроме органических примесей дождевой сток содержит минеральные растворенные компоненты — до 20—900 мг/л. Из катионов в стоке присутствуют кальций,

магний, кремний, натрий и калий, из анионов — сульфаты и хлориды; щелочность воды составляет 2—9 моль/л, общая жесткость — 2,5—13 моль/л (данные МАДИ-ТУ).

Массу загрязнений (кг/га), накопленных за время T на единице площади территории и попадающих в поверхностный сток, можно оценить по формуле [14]

$$m = m_{\max}[1 - \exp(-k_3 T)], \quad (3.26)$$

где $m_{\max}$ — максимально возможное количество накопленных загрязнений на поверхности; k_3 — коэффициент динамики накопления загрязнений, 1/сут; T — продолжительность периода без осадков (стока), сут.

Значения составляющих формулу (3.26) членов приведены в табл. 3.24.

Т а б л и ц а 3.24. Максимально возможная масса накопленных загрязнений и значения коэффициента k

Характеристика района	$m_{\max}$, кг/га	k_3 , 1/сут
Районы с современной застройкой с высокой степенью благоустройства и малой транспортной нагрузкой	10—200	0,4—0,5
Административно-торговые центры с высокой транспортной нагрузкой	100—140	0,3—0,4
Промышленные районы и зоны, прилегающие к крупным магистралям	200—250	0,2—0,3

Дополнительная загрязненность стока, вызванная размыванием грунтовых поверхностей, зависит от состояния дорожных покрытий и бордюров, отделяющих проезжую часть от газонов, их высотного расположения, уклона поверхности, интенсивности осадков. Концентрация загрязнений в талом стоке меньше меняется во времени, чем в дождевых водах, и ее можно с некоторым приближением принимать постоянной в течение периода снеготаяния.

Химический анализ снежной массы, взятой с обочин дорог (данные МАДИ-ТУ, МГУ), выявил наличие загрязняющих веществ с концентрациями, значительно превышающими санитарно-гигиенические нормативы. Эти превышения составили для нефтепродуктов — 486—1125 раз, железа — 88 раз, меди — 260—290 раз, цинка — 180—265 раз, кадмия — 6—10 раз, никеля и свинца — 2—5 раз.

Воздействие транспортных средств и участка дороги на растительный и животный мир могут быть прямыми (ранения, уничтожение, отравление производственными отходами, отработавшими газами транспортных средств и т.п.) или косвенными, которые обусловлены изменением среды обитания. Как показывает практика, количество случаев гибели животных на дороге находится в прямой зависи-

мости от состояния их численности. С увеличением плотности животных на единицу площади угодий, по которым проходит дорога, число дорожных происшествий этого типа возрастает. Статистика этих случаев в Российской Федерации отсутствует. Шум транспорта является одним из значимых факторов влияния на численность птиц и животных на придорожных территориях.

Расстояние от дороги, в пределах которого распространяется шумовое и визуальное воздействие, загрязнение воздуха (рис. 3.23), варьируется в значительных пределах. На открытых участках влияние шума и визуальных факторов распространяется на большие расстояния, а загрязнение воздуха — на небольшие. В лесу только шумовое загрязнение распространяется на значительное расстояние от дороги. Связь между транспортной нагрузкой и плотностью популяций птиц более значима для шума, чем для визуального воздействия или комбинации шума и визуального воздействия.

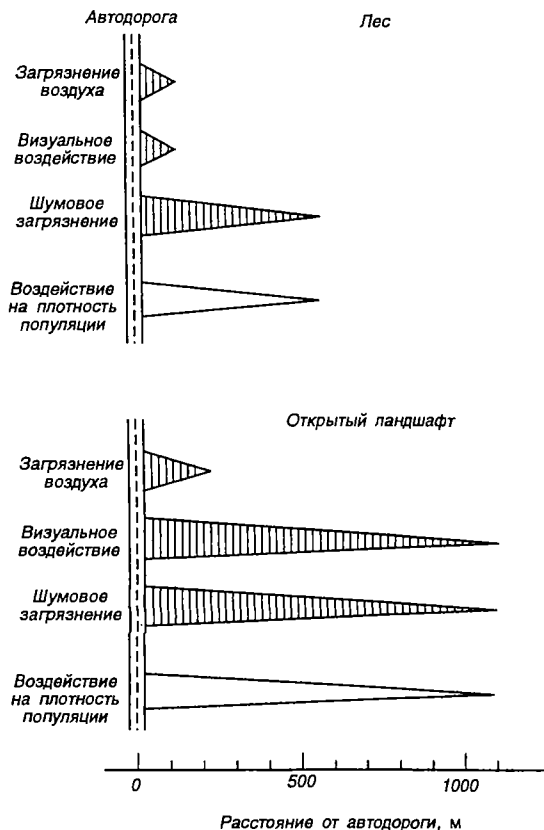


Рис. 3.23. Влияние разных факторов транспортного загрязнения на численность популяции птиц на придорожных землях [38]

3.4.2. Мероприятия по снижению загрязнения окружающей среды при осуществлении перевозочного процесса

Транспортные средства. Из большого количества известных мероприятий наиболее эффективными являются следующие.

1. Регулярный пересмотр в сторону ужесточения норм токсичности и уровня шума (см. гл. 5) одиночных транспортных средств.

2. *Совершенствование (модернизация) систем питания, зажигания ДВС* — увеличение полноты сгорания топлива путем оптимизации дозирования горючей смеси и более надежного поджигания (в двигателях с искровым зажиганием), а также:

- ужесточение технологических допусков при изготовлении деталей, формирующих камеру сгорания, систему подачи топлива, впускные трубопроводы;

- улучшение конструкции поршневых колец;

- уменьшение угла опережения зажигания;

- совершенствование систем пуска, прогрева, холостого хода;

- использование впрыска топлива, транзисторного зажигания, микропроцессорного управления.

3. *Повышение качества моторных топлив.* Отказ от использования тетраэтилсвинца в бензинах, снижение содержания серы в дизельном топливе (до 0,05%), ароматических углеводородов.

4. *Рециркуляция отработавших газов ($R_{o.r.}$).* Перепуск отработавших газов в систему впуска приводит к снижению температуры горения и снижению выбросов оксидов азота, но ухудшается топливная экономичность (при $R_{o.r.}=15-20\%$ NO_x снижается на 60—80%).

5. *Нейтрализация отработавших газов, фильтрация твердых частиц.*

Нейтрализатор (рис. 3.24) — устройство каталитического действия, предназначенное для обработки отработавших газов двигателя.

Окислительный каталитический нейтрализатор работает при температуре 680—880 К и осуществляет окисление CO и низкомолекулярных углеводородов в CO_2 с эффективностью до 75—95%. Блок-носитель делают из керамической сотовой структуры, гофри-

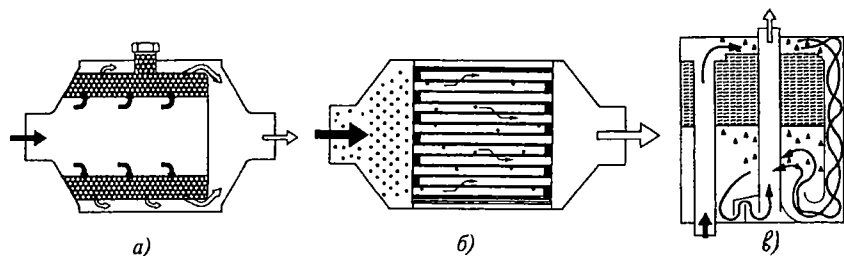


Рис. 3.24. Схемы различных типов нейтрализаторов автомобилей:

а — каталитический; б — комбинированный (нейтрализатор-фильтр-глушитель); в — абсорбционный нейтрализатор-фильтр

рованной фольги (нержавеющая сталь толщиной 0,03—0,04 мм), в виде гранул из оксида алюминия, которые укладываются в металлический цилиндр, закрытый по торцам сетками.

Окислительно-восстановительный каталитический нейтрализатор по конструкции не отличается от окислительного, но дополнительно комплектуется кислородным датчиком (λ -зондом) после нейтрализатора, системой впрыска топлива (вместо карбюратора), так как необходимо дозировать топливо с высокой точностью, ибо вблизи $\alpha=0,98$ — $0,99$ достигается максимальный эффект нейтрализации одновременно по трем компонентам — CO , C_xH_y и NO_x (рис. 3.25).

Длительность впрыскивания форсункой задается электронным блоком управления в зависимости от сигналов измерителей расхода воздуха, частоты вращения и кислородного датчика, электроды которого выполнены из пористой платины.

Нейтрализатор эффективно работает при температуре 580—1150 К только при использовании неэтилированного бензина.

Фильтры для улавливания дисперсных частиц являются известным техническим решением для снижения выбросов твердых частиц дизелей. Среди фильтрующих материалов предпочтительна керамика, позволяющая получить максимальную фильтрующую поверхность в единице объема при выполнении жестких требований по рабочим температурам, прочности, долговечности, а также экономическим показателям (табл. 3.25).

При использовании фильтров возникают проблемы обеспечения их эффективной работы из-за быстрого заполнения пор частицами сажи. Выход — в использовании системы регенерации от накопленной сажи: термической (внешний подогрев отработавшими газами, пламенем) или с применением каталитических активаторов горения сажи. Второй вариант значительно упрощает систему регенерации, сводя ее по существу только к системе аварийного отключения фильтра при недопустимо высоком сопротивлении.

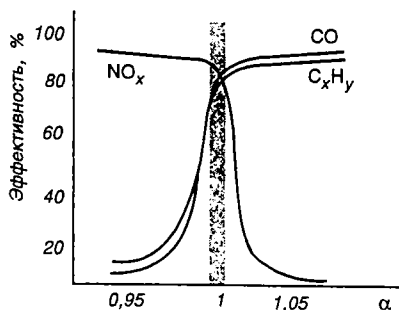


Рис. 3.25. Принцип работы окислительно-восстановительного нейтрализатора отработавших газов бензиновых двигателей

**Таблица 3.25. Характеристики фильтрующего материала
(данные НАМИ)**

Характеристика материала	Показатель
Состав	SiO ₂
Структура	Волокнистая
Средний размер волокон, мкм	1×10
Средний размер пор, мкм	20
Пористость, %	90—92
Объемная плотность, г/см ³	0,25
Прочность на сжатие, кг/см ²	10
Температура, К	1500
Коэффициент линейного расширения, м/К	$5 \cdot 10^{-7}$
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	0,1

В числе каталитических активаторов горения сажи используют металлоорганические соединения и активаторы на основе железа, цезия, марганца, при наличии которых обеспечивается надежная регенерация фильтра при температурах отработавших газов 600—650 К. Концентрация активаторов горения сажи в топливе составляет 0,02%.

Обычно в дизелях фильтр частиц устанавливают в комбинации с нейтрализатором (фильтр-нейтрализатор); решается не только проблема удаления СО и C_xH_y, но и упрощается процесс фильтрации за счет изменения состава дисперсных частиц (удаления из них углеводородных фракций). В качестве каталитического элемента применяется блочный носитель, а общая конструкция разрабатывается с учетом выполнения требований по шумоглушению.

6. *Поддержание технического состояния* (теплого режима, регулировок) в пределах допусков заводов-изготовителей предусматривает развитие сети сервисного обслуживания транспортной техники адекватно росту численности автомобильного парка.

7. *Использование новых рабочих процессов и видов энергоресурсов* (природный газ, синтез-газ, водород, спирты, электропривод). В числе перспективных рабочих процессов двигателей — переобеднение смеси (рис. 3.26), т.е. работа в диапазоне коэффициента избытка воздуха 1,4—1,6. В этом случае даже при отсутствии нейтрализатора отрабо-

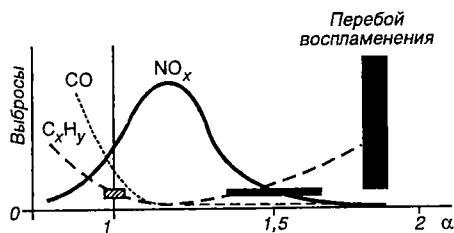


Рис. 3.26. Зависимость выбросов от коэффициента избытка воздуха

тавших газов можно существенно снизить выброс токсичных веществ в широком интервале эксплуатационных нагрузок.

Существенное снижение выбросов транспортных средств можно обеспечить в случае использования альтернативных топлив (табл. 3.26). Перспективным считается, например, применение диметилэфира (ДМЭ) в качестве топлива для городских дизельных автомобилей и автобусов. При нормальных условиях ДМЭ находится в газообразном состоянии и по физическим свойствам сходен со сжиженным нефтяным газом.

Т а б л и ц а 3.26. Выбросы вредных веществ АТС ГАЗ-2410 при работе на разных топливах, г/км (данные НАМИ)

Вид топлива	CO	C _x H _y	NO _x	CO ₂ , кг/кг
Бензин АИ-93	10,3	2,17	2,25	2,1
Сжиженный нефтяной газ	4,7	1,19	2,15	2,0
Сжатый природный газ	2,1	1,11	2,1	1,9
Бензин+Водород	0,74	0,69	1,11	0,42
Водород	0	0	0,62	0
Метанол	6,92	1,14	1,09	0,35
Метанол+Синтез-газ	1,24	0,62	0,89	0,26
Синтез-газ	0	0,1	0,57	0,19

При его использовании возможна реализация в двигателе с воспламенением от сжатия эффективного процесса сгорания с очень низким уровнем выбросов вредных веществ и шума. Некоторое количество твердых частиц образуется из-за попадания смазочного масла в камеру сгорания. Низкий уровень выбросов оксидов азота объясняется меньшим временем выгорания не перемешанной горючей смеси, меньшей скоростью нарастания давления и температурой сгорания. Диметилэфир имеет период полураспада менее суток и распадается на CO₂ и H₂O, не загрязняя атмосферу. Однако имеются проблемы с промышленным получением этого вида моторного топлива.

Для выполнения действующих и перспективных норм* выбросов вредных веществ АТС с воспламенением от сжатия и искровым зажиганием необходимо применение комплекса мероприятий (табл. 3.27 и 3.28), что реализуется в современных конструкциях двигателей.

В качестве основных мероприятий по снижению шума одиночных транспортных средств используются (данные НАМИ):

* Сроки введения и значения норм приведены в табл. 5.9 и 5.10.

— глушители абсорбционные, реактивные (рефлексные) и комбинированные. Снижение шума в абсорбционных глушителях происходит за счет поглощения звуковой энергии в применяемых для них звукопоглощающих материалах, а в реактивных глушителях — в результате отражения звука обратно к источнику.

Выбор типа глушителя зависит от спектра шума источника, конструкции двигателя, допустимого аэродинамического сопротивления. На практике используют комбинированные глушители, работающие одновременно и как абсорбционные, и как реактивные, например камерные глушители с облицованной звукопоглощающим материалом внутренней поверхностью;

Т а б л и ц а 3.27. Мероприятия, обеспечивающие выполнение перспективных норм токсичности транспортными средствами с дизельными двигателями (данные НАМИ)

Мероприятия	EURO —1	EURO —2	EURO —3	EURO —4	Сроки внедрения
1. Топливная аппаратура с высоким давлением впрыскивания: 50—80 МПа 80—100 МПа 100—150 МПа	+	+	+	+	1994 г. С 1997 г.
2. Электронная система управления топливотдачей: аккумуляторная топливная система адаптивное микропроцессорное (МП) управление силовым агрегатом			+	+	
3. Турбонаддув: с повышенным КПД турбокомпрессора регулируемый наддув охлаждение наддувочного воздуха с системой глубокого охлаждения	+	+	+	+	1994 г. 1998 г.
4. Топливо: дизельное с содержанием серы до 0,05% газовое (газодизельный цикл) диметилэфир	+		+	+	С 1997 г. 1987 г.
5. Антиоксичные системы: окислительный нейтрализатор фильтр-нейтрализатор с системой регенерации нейтрализатор для восстановления NO _x	+	+	+	+	С 1989 г. Опытные образцы

— картерные детали двигателя с высокой изгибной жесткостью — снижение вибрационного отклика на частотах 1—2 кГц способствует уменьшению структурного шума на 1—4 дБА;

— *вибропоглощающие слоистые материалы* типа «металл—пластик—металл» в качестве малонагруженных корпусных деталей (клапанные крышки, масляный поддон и т.п.) — внешний шум автомобиля снижается на 1—2 дБА;

— *двухступенчатый впрыск топлива, муфта отключения вентилятора, шкив коленчатого вала ступицевидной конструкции* позволяют снизить структурный шум поршневого двигателя на 3—10 дБА;

— *экраны с акустическими материалами* позволяют снизить внешний шум автомобиля на 2—4 дБА, а *акустические капсулы* (вокруг силового агрегата) — до 6 дБА;

— *малошумные шины* (с измененным рисунком протектора).

Малошумный дренажный асфальт в первые два года эксплуатации дает снижение шума автомобиля до 5 дБА, а затем эффект исчезает. Это связано с уменьшением числа дренажных пор в результате попадания воды, льда, различных частиц, вызываемых износом шин, и т.п.

Таблица 3.28. Мероприятия, обеспечивающие выполнение перспективных норм токсичности транспортными средствами с бензиновыми двигателями (данные НАМИ)

Мероприятия	EURO —1	EURO —2	EURO —3	EURO —4	Состояние разработки, сроки внедрения
Электронная система впрыска топлива и зажигания на базе 8-разрядного МП	+				С 1995 г.
Электронная система распределения впрыска на базе 16-разрядного МП с самодиагностикой		+	+		С 1997 г.
Электронная система непосредственного впрыска				+	
Многоклапанная система газораспределения			+		С 1986 г.
Многоклапанная система газораспределения с регулируемыми фазами				+	
Трехкомпонентный нейтрализатор	+				С 1997 г.
Трехкомпонентный катализатор с системой ускоренного прогрева		+	+		
Каталитический нейтрализатор с блоком восстановления NO _x при избытке кислорода				+	
Топливо:					
неэтилированный бензин	+	+	+	+	В 1997 г. 63%
природный газ	+	+	+	+	С 1990 г.
метанол				+	

Участок дороги. Основные мероприятия по снижению загрязнения.

1. *Поддержание транспортно-эксплуатационных параметров* дороги (ровности, шероховатости, продольного и поперечного уклонов, деформаций, обустройства) в пределах требуемых нормативов.

2. *Разработка эффективных способов и методов зимнего и летнего содержания дороги.* Это использование экологически безопасных химических реагентов, автоматизированных систем раннего оповещения об образовании гололеда, средств распределения противогололедных материалов с малыми расходами ($5\text{--}20\text{ г/м}^2$), специальных покрытий с антигололедными свойствами и саморегулирующимися электронагревателями, аккумулированной теплоты.

3. *Уничтожение нежелательной древесно-кустарниковой и травянистой растительности* экологически безопасными, в том числе биологическими методами. Основной метод — ручная или механизированная рубка (уборка) растительности с утилизацией порубочных остатков (изготовление стеновых панелей, топливных брикетов и др.).

4. *Использование методов защитного и эколандшафтного озеленения и благоустройства придорожной полосы.* В придорожной полосе зеленые насаждения оказывают влияние на снижение уровня транспортного загрязнения по двум направлениям:

- поглощение вредных веществ листьями растений, смывание веществ с листьев, коры и осадение их в почве;
- турбулизация приземных слоев воздуха.

На рис. 3.27 и 3.28 показаны результаты оценки влияния растительности на содержание NO_x в воздухе и Pb в пробах мха [36].

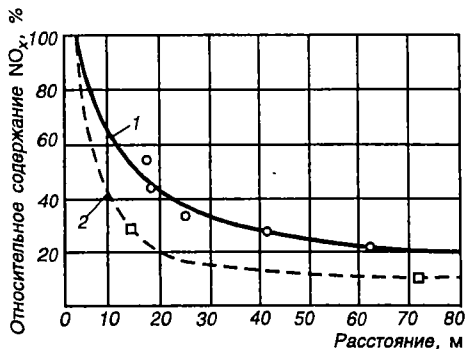


Рис. 3.27. Влияние зеленых насаждений на содержание оксидов азота:

1 — отсутствие насаждений; 2 — двусторонние посадки

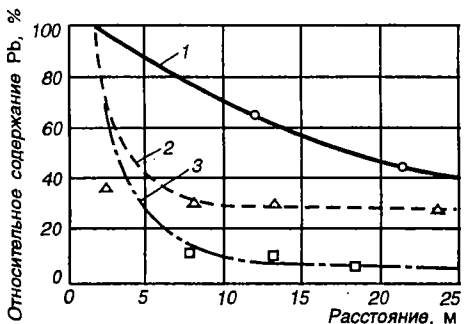


Рис. 3.28. Влияние растительности на содержание свинца в пробах мха:

1 — открытая местность; 2 — кустарник шириной 6 м; 3 — лиственный лес

Мероприятия эколандшафтного озеленения и благоустройства служат для сохранения целостности экосистем и подразделяются на ландшафтосберегающие, ландшафтовосстанавливающие и ландшафтоформирующие (данные НПО «Эколандшафт»). *Ландшафтосберегающие* — работы по инженерной и биоинженерной защите от эрозии почв, абразии берегов, селевых потоков, снежных лавин, заболачивания, загрязнения поверхностного стока и подземных вод. *Ландшафтовосстанавливающие* — применяются при рекультивации земель полосы отвода, карьеров, территорий предприятий. *Ландшафтоформирующие* — используются при создании техногенных ландшафтов — благоустройство, декоративное оформление.

Для этих целей используются *габионы* — заполненные каменным материалом корзины различной формы (коробчатые, цилиндрические), изготовленные из оцинкованной сетки двойного кручения. Габионы заполняются щебнем, галькой, небольшими валунами, имеющими размеры в 1,5—2 раза больше размера ячейки сетки с шестигранными ячейками размером 10×12 , 8×10 , 6×8 или 5×7 см (рис. 3.29).

Их конструкции отличаются гибкостью, прочностью, водопроницаемостью, долговечностью, способностью аккумулировать

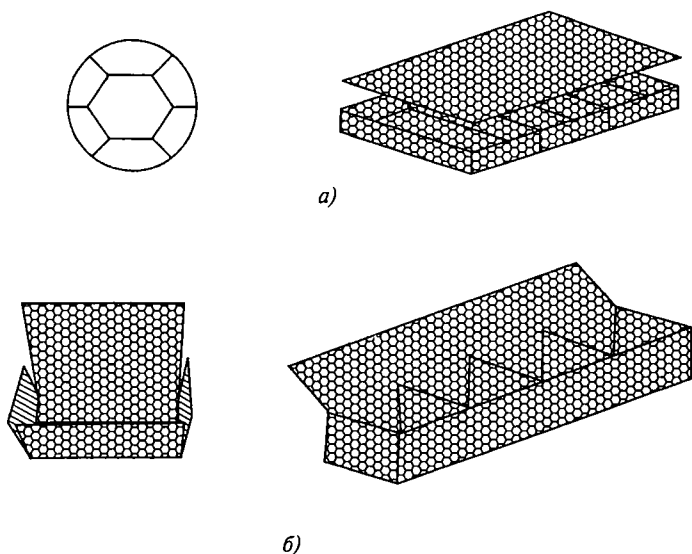


Рис. 3.29. Конструкция габионов (данные НПО «Эколандшафт»):

a — матрица Рено; *б* — габион Джамбо

грунтовые частицы, низкой стоимостью. Чаще всего применяют коробчатые габионы размером $2 \times 1 \times 1$ м; $1,5 \times 1 \times 1$ м; габионы Джамбо размером $2 \times 1 \times 0,5$ м; $3 \times 2 \times 0,5$ м. Широко используются также матрасы Рено, представляющие собой плоские прямоугольные конструкции 3×2 м, толщиной 0,17; 0,23 и 0,3 м. Габионы и матрасы Рено разделены на секции шириной 1,0 м с помощью диафрагм из той же сетки. Диафрагмы служат для упрочнения и облегчения монтажа габиона.

Коробчатые габионы и габионы Джамбо используются для возведения подпорных стен, береговых укреплений, водосливных плотин. Лицевая грань таких сооружений может быть гладкой или ступенчатой, максимальная высота — 7—8 м. Матрицы Рено применяют на склонах для защиты от эрозии, а также в качестве основания для сооружения коробчатых габионов и выполняют функции защитного фартука, предохраняющего основание конструкции от размыва.

В числе биоинженерных эколандшафтных технологий — использование биоматов, биотекстилей и систем экстремального озеленения. *Биоматы* — покрытия из натурального волокна, создающие плодородный слой и защищающие склоны от эрозии. Изготавливаются в виде рулонов длиной 50 м и шириной 2,4 м, которые раскатываются по склону. Верхняя часть биоматов закрепляется кольями или засыпается грунтом. Еще до установки их засевают семенами трав, наиболее приспособленных для конкретного участка местности. Различают биоматы из соломы, кокосового волокна и смешанного типа (30—50% волокна и 50—70% соломы). Солома способствует быстрому созданию плодородного слоя. *Биотекстили* — сплетенные из натурального волокна (кокосового) сетки с размером ячеек 0,5—6 см способствуют быстрому укоренению растительности и применяются для стабилизации склонов, укрепления стенок и дна водоотливных лотков.

Метод экстремального озеленения применяется при рекультивации и служит для восстановления почвенного и растительного покрова в неблагоприятных природно-климатических условиях. Включает органический питательный компонент (жидкий коллоидный концентрат) — носитель азота, фосфора, сахара; сухие гранулы органического медленно действующего удобрения (почвенные грибки и бактерии); органический стабилизатор почвы для склеивания частиц почвы и компонент системы экстремального озеленения, а также средство защиты от эрозии на основе растительного волокна и семена трав.

3.5. Восстановление работоспособности (техническое обслуживание, ремонт) объектов транспорта

3.5.1. Источники загрязнения окружающей среды при обслуживании и ремонте объектов транспорта

Транспортные средства. При восстановлении работоспособности транспортных средств осуществляются уборочно-моечные, контрольно-регулирующие, крепежные, подъемно-транспортные, разборочно-сборочные, слесарно-механические, кузнечные, жестяничные, сварочные, медничные, очистительно-промывочные, смазочно-заправочные, аккумуляторные, окрасочные и другие работы. Они сопряжены с загрязнением атмосферного воздуха, воды и почвы вредными веществами, расходом конструкционных, эксплуатационных материалов и энергоресурсов на стационарных постах, участках, при маневрировании транспортных средств по территории стоянок и зон обслуживания.

Указанные процессы определяются периодичностью проведения регламентных работ, уровнем надежности конструкции транспортного средства, номенклатурой используемого оборудования, расходом материалов и инструмента на ремонтно-эксплуатационные нужды. В табл. 3.29 приведена номенклатура вредных веществ, выделяемых на производственных участках транспортного предприятия или автосервиса.

**Т а б л и ц а 3.29. Номенклатура веществ, выделяемых
при восстановлении работоспособности объектов транспорта
на специализированных участках**

Участок	Выделяемые вредные вещества
Аккумуляторный	Пары серной кислоты, диоксид серы, соединения свинца, аэрозоли
Механический	Пыль, аэрозоли
Сварочный	Соединения марганца и кремния, оксид хрома, фтороводород, оксиды азота, оксид углерода
Кузнечно-термический	Оксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, циано- и хлороводород, аммиак, пары масел, аэрозоли, щелочи, соли, сажа, зола, пыль
Медничный	Соединения кремния, уайт-спирит, ароматические углеводороды, щелочи, кальцинированная сода, фосфаты, синтамин, синтопол, сульфанол, кислоты (соляная, серная, азотная, фосфорная, синильная, хромовая), сульфаты, аэрозоли, хлорид никеля
Малярный	Аэрозоли красок, толуол, ксилол, сольвент, хлорбензол, дихлорэтан, спирты, ингибиторы органических и неорганических наполнителей, пленкообразующие вещества

Удельные (на 1000 км пробега АТС) выбросы вредных веществ, энергозатраты на специализированных участках транспортного предприятия представляют отношение объемов энергопотребления или валовых выбросов j -го вещества на определенном участке или в целом на предприятии в течение года к среднегодовому пробегу группы АТС, обслуживаемых на этих участках.

Происходит интенсивное загрязнение водных ресурсов (сточных вод) взвешенными веществами и нефтепродуктами со слабой эмульгированностью в результате очистки и обезжиривания поверхностей деталей и узлов транспортных средств с помощью щелочных и кислотных растворов, синтетических моющих средств (СМС), скипидара, жиров, формальдегида. Наибольшее количество загрязнений водных ресурсов связано с мойкой транспортных средств, входящих в регламент ежедневного технического обслуживания, а также агрегатов и деталей при осуществлении ремонта (табл. 3.30).

Т а б л и ц а 3.30. Выход загрязнений при косметической и углубленной мойке автомобилей (данные МАДИ-ТУ), кг/1 мойку

Подвижной состав	Косметическая мойка		Углубленная мойка	
	масса загрязнений	количество моек в году, шт	масса загрязнений	количество моек в году, шт
Легковые автомобили	0,7	40	1,5	15
Грузовые автомобили	1,1	25	2,3	10
Автобусы	1,4	85	3,1	10

Отработанные растворы моющих средств содержат нефтепродуктов и взвесей до 5 г/л, поверхностно-активных веществ (ПАВ) — до 0,1 г/л и щелочных электролитов до 20 г/л, т.е. концентрация вредных примесей в этих растворах в 40—90 тыс. раз превышает санитарные нормы.

Для восстановления деталей и придания рабочим поверхностям заданных физико-химических свойств используются *гальванические процессы*, в частности, электролитические способы осаждения хрома, железа, цинка, меди, кадмия в серноокислых растворах на поверхности деталей. Поэтому сточные воды содержат кислоты, щелочи, соединения хрома (VI), соли меди, никеля, цинка, кадмия.

Необходимость периодической замены моторного масла, антифриза, аккумуляторных батарей нередко приводит к залповым выбросам этих эксплуатационных материалов (сливу их на землю или в канализацию) и загрязнению вод нефтепродуктами, растворами кислот и другими веществами.

Токсичные вещества при окраске изделий выделяются в процессах обезжиривания поверхностей органическими растворителями, при подготовке лакокрасочных материалов, их нанесении на по-

верхность изделия и сушке покрытия. Около 4% объема расходующихся лакокрасочных материалов попадает в воду.

На автозаправочных станциях, пунктах заправки в результате утечек топлива из резервуаров наблюдается образование «линз» углеводородов в грунтовых водах, очистка которых представляет сложную инженерную проблему. Оценка удельного ($\text{г/1000 км пробега АТС}$) выброса C_xH_y из-за утечек и испарения топлива при заправке автомобилей производится по формуле

$$G_{\text{C}_x\text{H}_y} = k_{\text{ут}} Q_s 1000 / \rho, \quad (3.27)$$

где $k_{\text{ут}}$ — коэффициент учета потерь топлива при заправке, г/л ; для бензинов $k_{\text{ут}} = 1,19$; дизтоплива — 1,33; Q_s — расход топлива при движении АТС, кг/км ; ρ — плотность топлива, кг/л .

Выбросы вредных веществ в атмосферу при прогреве, маневрировании АТС на территории транспортного предприятия, составляют более 95% всех валовых выбросов загрязняющих веществ от данного объекта. Значения удельных выбросов вредных веществ в атмосферу, водную среду, а также объемы водопотребления и энергозатраты на стационарных постах обслуживания и ремонта, а также при маневрировании АТС по территории предприятия приведены в табл. 3.31.

Т а б л и ц а 3.31. Выбросы вредных веществ и энергозатраты при выполнении технического обслуживания и ремонта отдельных марок АТС, г/1000 км

Вещества	ВАЗ-1111	ГАЗ-2410	ГАЗ-5312	ЛИАЗ-677м	КАМАЗ-5320	КРАЗ-260
<i>Атмосферный воздух</i>						
Твердые частицы	9,3	21,8	31,2	69,1	94,5	146,3
СО	791,1	2818,9	1246,5	1632,2	363,8	766,7
NO _x	270,3	59,5	20,1	82,2	309,2	633,9
SO ₂	27,9	33,1	24,3	26,5	81,4	169,3
C _x H _y	341,1	425,9	480,5	762,2	516,8	709,0
Соединения свинца	4,5	5,3	3,7	3,7	—	—
MnO _x	0,01	0,03	0,05	0,1	0,13	0,2
Ацетон CH ₃ COCH ₃	4,4	10,3	14,8	32,7	39,6	61,4
Бутиловый спирт C ₄ H ₉ OH	11,8	27,7	39,6	87,7	106,4	164,7
Этиловый спирт C ₂ H ₅ OH	12,4	29,1	41,6	92,1	111,8	173,0
Сольвент	1,0	2,3	3,3	7,3	8,9	13,7
Бутилацетат CH ₃ COO(CH ₂) ₃ CH ₃	12,0	28,3	40,5	89,6	108,7	168,2
Этилацетат CH ₃ COOC ₂ H ₅	1,7	4,0	5,5	12,6	15,3	23,7
Толуол C ₆ H ₅ CH ₃	37,4	87,9	125,8	278,5	338,1	523,2
Ксилол C ₆ H ₆ (CH ₃) ₂	2,2	5,2	7,4	16,4	19,9	30,8

Вещества	ВАЗ-1111	ГАЗ-2410	ГАЗ-5312	ЛИАЗ-677м	КАМАЗ-5320	КРАЗ-260
<i>Водная среда</i>						
Взвеси	2,8	4,8	9,7	21,2	25,7	39,7
Нефтепродукты	0,2	0,4	0,8	1,7	2,1	3,2
Энергозатраты, кВт · ч/1000 км	173,7	204,5	148,3	145,1	110,2	219,4
Водопотребление, л/1000 км	0,57	0,96	1,94	4,25	5,15	7,96

Из 16 загрязнителей воздуха при восстановлении работоспособности наибольшие значения имеют оксид углерода, оксиды азота, углеводороды, спирты, бутилацетат, толуол, а при загрязнении водных ресурсов — взвеси и нефтепродукты.

Значения расхода материалов на ремонтно-восстановительные нужды для отдельных марок АТС приведены в табл. 3.32.

Т а б л и ц а 3.32. Расход конструкционных и эксплуатационных материалов на ремонтно-восстановительные нужды автомобилей (без запчастей), г/1000 км пробега

Наименование	ВАЗ-1111	ГАЗ-2410	ГАЗ-5312	ЛИАЗ-677м	КАМАЗ-5320	КРАЗ-260
Сталь, чугун	362,7	400,5	1663,0	1476,0	3651,3	6330,8
Алюминий	1,04	0,8	2,5	2,9	2,6	3,9
Медь	1,51	2,0	4,9	7,4	18,0	28,7
Резина	1,78	2,2	8,1	13,5	9,1	33,9
Лаки	46,3	59,3	239,0	225,1	279,7	545,5
Химикаты	58,1	69,3	115,5	136,2	311,6	293,7
Топливо	18,5	18,5	59,2	53,3	391,7	569,6

Для других материалов (свинец, пластмассы, моторное масло, антифриз, кислоты), потребление которых происходит вследствие замены их через определенный пробег АТС, оценка расхода производится с учетом рекомендаций заводов-изготовителей.

Кроме загрязнения воздуха и воды происходит загрязнение территории предприятия твердыми отходами, прежде всего утильными покрышками и аккумуляторами. Масса утильных шин (кг/1 автомобиль в год), скапливаемых на территории предприятия, составляет: легковые АТС — 9,85; грузовые — 124,9, автобусы — 390,4 (данные МАДИ-ТУ). В твердые отходы попадают и демонтируемые детали. Расход материалов (кг/1000 км пробега) в виде запчастей при выполнении операций технического обслуживания и ремонта оценивается по формуле

$$G_{зч} = \left[\left(\sum_i H_{c_i} m_i \right) / 100 L_a \right] 10^4, \quad (3.28)$$

где H_{ci} — средняя норма потребления i -й детали как запчасти; m_i — масса i -й детали; L_a — годовой пробег АТС.

В табл. 3.33 приведены значения расходов материалов (в виде запчастей) на осуществление ремонта некоторых марок АТС, которые в виде твердых отходов могут загрязнять территорию транспортного или ремонтного предприятия.

Т а б л и ц а 3.33. Расход материалов в виде запчастей при выполнении ремонта АТС, г/1000 км пробега

Наименование	ВАЗ-1111	ГАЗ-2410	ГАЗ-5312	ЛИАЗ-677м	КАМАЗ-5320	КРАЗ-260
Сталь, чугун	109,5	344,0	492,6	978,9	1027,4	2804,2
Алюминий	18,5	61,1	175,0	199,0	12,0	39,0
Медь	15,8	33,0	104,0	231,0	62,0	143,0
Резина (без шин)	15,5	34,5	34,0	89,0	22,0	87,0

Авторемонтное производство наряду с технологическими процессами, используемыми при изготовлении АТС, имеет ряд специфических (разборка, мойка, восстановление изношенных деталей). Все они сопровождаются расходом материалов, выбросом вредных веществ, загрязняющих прежде всего водную среду. Моечные работы являются источником загрязнения сточных вод вследствие применения щелочных и кислотных растворов, синтетических моющих средств (СМС), скипидара, жиров, формальдегида. В табл. 3.34 приведены значения удельных выбросов вредных веществ в водную среду при осуществлении капитального ремонта автомобилей.

Т а б л и ц а 3.34. Выбросы вредных веществ в водную среду при капитальном ремонте АТС, г/кг массы

Наименование вещества	Технологические процессы*				Итого
	1	4	5+6	7	
Лабомид	899,0	—	0,1	—	899,1
Кальцинированная сода	450,3	—	3,04	—	453,34
Алкилсульфат натрия	8,9	—	—	—	8,9
Синтанол	54,2	—	—	—	54,2
Нефтепродукты	297,2	—	—	—	297,2
Взвеси	461,5	—	0,26	34,42	496,18
NaOH	—	—	14,86	0,91	15,77
Оксид хрома CrO ₃	—	—	26,75	17,2	43,95
FeCl ₃	—	—	14,1	—	14,1
Тринатрийфосфат	—	—	0,1	—	0,1

* 1 — мойка, очистка поверхностей деталей, 4 — сварка, резка, наплавка, 5 — гальваническая, термическая обработка, 6 — механическая обработка, 7 — сборка, окраска.

Дорога как инженерное сооружение. При осуществлении ремонта участка дороги типичными технологическими процессами являются следующие:

1. *Удаление верхнего слоя дорожного полотна фрезой.* Выбросы и энергозатраты связаны с получением и расходом тепловой энергии на размягчение верхнего слоя асфальта, а также расходом энергии на привод фрезы для снятия этого слоя.

2. *Ремонт дорожного покрытия.* После фрезерования поверхность дорожного полотна разогревается, разрыхляется, выравнивается, наносится битумная смесь, которая затем уплотняется давлением порядка 50 кг/м². Источниками выбросов являются битумная смесь и мазутная (газовая) горелка для разогрева.

3. *Заделка швов.* Загрязнение происходит отходами материалов. Энергозатраты при заделке швов связаны с очисткой швов, изготовлением материала для заделки и балластировкой швов.

4. *Транспортировка отходов до места хранения или переработки.* Энергозатраты и выбросы связаны с расходом моторного топлива в двигателях транспортных средств, осуществляющих перевозку отходов.

Значения удельных энергозатрат в указанных основных процессах приведены в табл. 3.35.

Т а б л и ц а 3.35. Энергозатраты при ремонте автомобильных дорог,
МДж/(м² см)

Технологические операции	Процессы			
	1	2	3	4
Фрезерование (тепловая энергия)	3,1	—	—	—
Расход моторного топлива	3,1	3,1	—	—
Удаление изношенного слоя	—	—	—	14,71
Транспортировка материала изношенного слоя	99,46	—	—	99,46
Формирование нового профиля, размягчение	—	3,1	—	—
Заменяемый материал (изготовление, укладка, перемешивание)	—	11,56	—	—
Остальное, МДж/пог.м	—	—	1,68	—
Общие энергозатраты	8,44	17,76		2,72

Так, замена верхнего слоя дорожного полотна толщиной 10 см сопровождается потреблением 177,6 МДж/м² энергии непосредственно при ремонте дороги, 84,4 МДж/м² — при удалении слоя фрезой и 27,2 МДж/м² — при транспортировке отходов до места хранения или переработки. В результате суммарные энергозатраты при

ремонте дорожного покрытия толщиной 10 см составят 289,2 МДж на 1 м² поверхности дороги, т.е. в 2 раза меньше, чем при сооружении дороги.

Выбросы вредных веществ при ремонте дорог меньше, чем при строительстве и связаны с работой строительно-дорожной техники и свойствами используемых строительных материалов (выделение углеводородов, радиоактивность и др.). Достоверных количественных оценок интенсивности выбросов крайне мало. Но повышенные концентрации автомобильных выбросов в зоне ремонта дороги, связанные с ухудшением условий движения транспорта (снижение скорости, образование пробок из-за сужения проезжей части дорог и др.), ароматических углеводородов из асфальтобетонной смеси крайне негативно влияют на здоровье дорожных рабочих. Этот вопрос является пока малоизученным.

3.5.2. Мероприятия по снижению загрязнения окружающей среды при обслуживании и ремонте транспортных объектов

Транспортные средства. Используемые мероприятия для сокращения расхода материалов, выбросов загрязняющих веществ в воздух и водные источники при восстановлении АТС, заключаются в устройстве систем очистки воздуха, сточных вод, предотвращении проливов топливно-смазочных материалов, кислот, щелочей и др. Эти мероприятия существенно не отличаются от приведенных в разделе 3.3.2, которые используются в технологических процессах изготовления транспортных средств.

Основное отличие негативного воздействия на окружающую среду технологических процессов восстановления работоспособности от процессов производства — увеличенный объем выбросов твердых отходов и загрязнения сточных вод вредными веществами из-за осуществления косметической и углубленной мойки автомобиля, отдельных агрегатов, а также очистки отдельных деталей.

Выбор методов и оборудования для очистки сточных вод осуществляется исходя из количества сточных вод и диапазонов концентраций примесей. Схема стандартной очистки сточных вод в замкнутых системах водообеспечения приведена на рис. 3.30.

Сточные воды от отдельных производств на предприятии объединяются для очистки по преобладающим загрязнителям и объемам: слабо загрязненные воды одного или нескольких видов примесей; цианосодержащие стоки; кислые, щелочные стоки; воды, содержащие нефтепродукты. При отсутствии резко выражен-

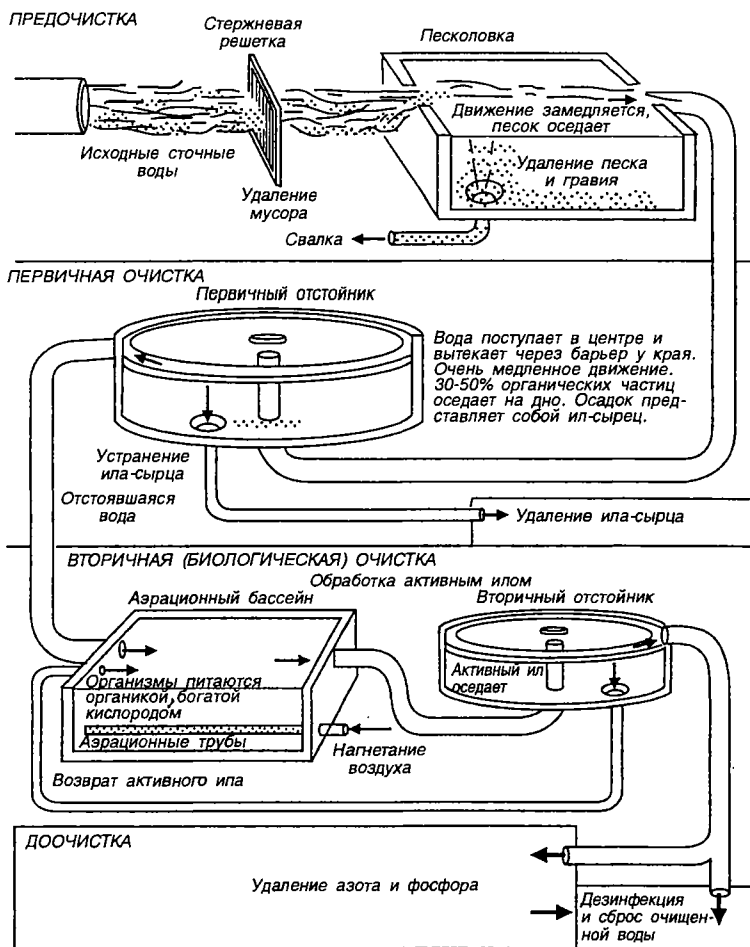


Рис. 3.30. Схема очистки сточных вод в замкнутых системах водообеспечения [3]

ных видов загрязнений сточные воды усредняют, объединяя в один поток. Для этого устанавливают на входе усреднители концентрации примесей, объем которых зависит от коэффициента подавления

$$\eta_{\text{п}} = (c_{\text{max}} - c_{\text{ср}}) / (c_{\text{д}} - c_{\text{ср}}), \quad (3.29)$$

где c_{max} , $c_{\text{ср}}$ — максимальная и средняя концентрации примесей в сточных водах; $c_{\text{д}}$ — допустимая концентрация, при которой обеспечивается нормальная эксплуатация очистного оборудования.

Объем усреднителя определяется по формулам

$$V = \eta_n \Delta G t \text{ при } \eta_n > 5;$$

$$V = \Delta G t / \ln[\eta_n / (\eta_n - 1)] \text{ при } \eta_n < 5,$$

где ΔG — превышение расхода сточной воды при переменном сбросе;
 t — время переменного сброса.

При очистке сточных вод транспортных и дорожных предприятий наибольшее распространение получили процессы процеживания, отстаивания, обработки в поле действия центробежных сил, фильтрования. *Процеживание* реализуют в решетках (вертикальных или наклонных) с шириной пазов 15—20 мм. Осадок удаляют вручную или механически, который затем обрабатывается. Обычно используют комбинированные решетки-дробилки, которые не только улавливают крупные частицы, но и измельчают их до 10 мм и меньше. *Отстаивание* основано на свободном оседании (всплывании) примесей с плотностью больше (меньше) плотности воды. Процесс реализуют в песколовках, отстойниках и жиросепараторах.

Песколовки (используют для очистки сточных вод от частиц металла и песка размером более 0,25 мм) бывают горизонтальные с прямолинейным и круговым движением воды, вертикальные и аэрируемые. Отстойники (используют для очистки сточных вод от механических частиц размером до 0,1 мм и нефтепродуктов) бывают горизонтальные, радиальные и комбинированные. При расчете отстойников определяют их длину и ширину при заданном расходе сточных вод.

Очистку сточных вод в поле действия центробежных сил осуществляют в открытых или напорных гидроциклонах и центрифугах. Открытые гидроциклоны применяют для выделения из сточных вод крупных примесей со скоростью осаждения более 0,02 м/с.

Фильтрование применяют для очистки вод от тонкодисперсных примесей с малой концентрацией как на начальной стадии, так и после использования некоторых методов физико-химической и биологической очистки, сопровождающихся выделением в очищаемую воду взвешенных веществ. Применяют два вида фильтров: зернистые (насадки из несвязанных пористых материалов) и микрофильтры, фильтроэлементы которых изготавливают из пористых материалов. Для очистки сточных вод от масел используют в качестве фильтровального материала пенополиуретан, который обеспечивает эффективность очистки 97—99% при скорости фильтрования до 0,01 м/с. Насадка легко регенерируется отжатием масел и нефтепродуктов.

В оборотных системах водоснабжения промышленных предприятий применяют также физико-химические методы очистки воды: флотацию, экстракцию, нейтрализацию, сорбцию, ионообменную и электрохимическую очистку, гиперфильтрацию, эвапорацию, выпаривание, испарение, особенности которых рассмотрены в гл. 2.

Для выделения тонкодисперсных и растворенных органических веществ в сточных водах предприятий, поверхностном стоке перспективно использовать *биологические методы очистки*, которые основаны на способности микроорганизмов использовать для питания спирты, белки, углеводы. Производительность процесса зависит от видов организмов и реализуется в две стадии, протекающие одновременно, но с различной скоростью: адсорбция из сточных вод тонкодисперсных и растворенных примесей органических веществ и разрушение адсорбированных веществ внутри клеток микроорганизмов за счет протекающих биологических процессов. Биологическую очистку осуществляют в природных (поля фильтрации, орошения, биологические пруды) и искусственных условиях (биофильтры). В качестве фильтровального материала применяют шлак, щебень, керамзит, пластмассу, гравий.

Применяют биофильтры с естественной подачей воздуха и суточным расходом до 1000 м³. При расходе свыше 1000 м³ используют биофильтры с принудительной подачей воздуха. Нормальный ход процесса биоочистки устанавливается после образования на загрузочном материале биологической пленки, микроорганизмы в которой адаптировались к органическим примесям сточных и поверхностных вод предприятий. Указанный период адаптации составляет 2—4 недели.

Аэротенки используют для очистки больших объемов сточных вод. Их окислительная мощность (биологическая потребность в кислороде) составляет 0,5—1,5 кг/м³ в сутки. Воздух, интенсифицирующий процесс окисления органики, распределяется равномерно по всей длине аэротенка. Диспергирование воздуха в очищаемой сточной воде осуществляется механическими или пневматическими аэраторами. Концентрация активного ила при очистке производственных сточных вод обычно составляет 2—3 кг/м³ по сухому веществу. *Окситенки* обеспечивают более интенсивный процесс окисления за счет подачи в них вместо воздуха технического кислорода и повышения концентрации активного ила. Реактор окситенка герметизируют. Очищенная от окситенка сточная вода из реактора поступает в илоотделитель.

Расчет выпусков сточных вод в водоемы проводят в зависимости от преобладающего вида примесей в сточных водах и характеристик водоема.

Дорога как инженерное сооружение. Основной технологической операцией технического обслуживания дороги является летняя и зимняя уборка — наиболее распространенный способ очистки дорожного полотна от твердых примесей и бытовых отходов. Характер взаимодействия уборочной техники с загрязнениями, снегом, льдом, а также с дорожными покрытиями определяется планировкой дороги, зеленых насаждений, состоянием системы ливневой канализации и других элементов инженерного обустройства дорог, а также параметрами дорожного движения и климатическими условиями.

На дорогах для очистки от твердых загрязнений, где позволяет качество покрытия, применяют мойки. Этот метод требует обеспечения стока воды, дорога должна иметь продольный и поперечный уклоны и закрытую систему водоотведения. Расход воды при мойке дорожной одежды должен составлять не менее 0,8—1,1 л/м², а при мойке лотков 3—4 л/м². Механическое подметание является основной операцией уборки усовершенствованных дорожных покрытий. Подметают там, где нерационально применять мойку по условиям профилирования и благоустройства дороги (дороги с недостаточным для стока поливомоечных вод поперечным и продольным уклонами и дороги, не имеющие ливневой канализации). Подметание также применяют в сочетании с мойкой как завершающую операцию по удалению с прилотковой полосы загрязнений, внесенных в результате мойки покрытий. При скорости движения 40—60 км/ч и малой интенсивности потока загрязнения распределяются равномерно по ширине дороги. На дорогах с большой интенсивностью движения загрязнения отбрасываются движущимся транспортом к краю проезжей части и сосредотачиваются вдоль нее полосой до полутора метров. На автомагистралях с разделительной полосой часть загрязнений скапливается на этой части дороги.

Периодичность уборки определяют из условий предельно допустимого накопления загрязнений на дороге с усовершенствованными покрытиями в благоустроенных районах — 30 г/м², на дорогах, примыкающих к дворовым территориям с неусовершенствованными покрытиями, — 50 г/м². При таких загрязнениях запыленность воздуха на дороге на высоте 1,5 м не превышает ПДК. Подметально-уборочные машины должны обеспечивать высокую степень сбора смёта и ограничение до минимума или полное отсутствие пыления при работе машины, максимальную очистку воздуха перед выбросом. Подметание можно производить при сухих покрытиях и положительных температурах воздуха. Обеспыливание процесса подметания достигают: увлажнением смёта до подметания и пнев-

матическим отсасыванием пыли из зоны подметания с последующей очисткой воздуха.

Мероприятия по снижению загрязнения окружающей среды на этапе текущего и капитального ремонта дороги связаны с:

- использованием методов холодного фрезерования при снятии верхнего слоя дорожного покрытия в ходе осуществления поверхностной обработки или ремонта;

- применением современных экологически безопасных асфальтоукладчиков, машин для санирования дорожного полотна (выравнивание и вырезка краев, устранение остаточных материалов, очистка от остатков асфальта и пыли, обрызгивание связующим материалом, заливание горячего асфальта и его уплотнение);

- ремонтом дорожного полотна с использованием горячего и холодного рециклирования.

Холодный рециклинг — метод замены дорожных одежд путем фрезерования верхнего поверхностного слоя и замены его с использованием материала старой дорожной одежды и нового вяжущего. Конструкция рециклера (рис. 3.31) предусматривает наличие микропроцессорного управления для точного дозирования битума, воды

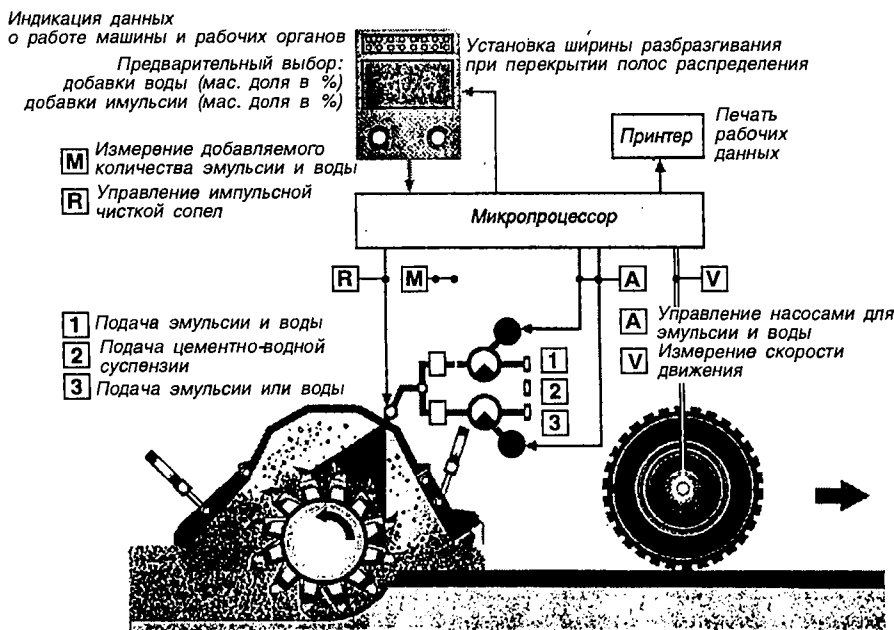


Рис. 3.31. Принципиальная схема работы рециклера (данные фирмы Wirtgen)

или цементно-водной суспензии и получения требуемого качества смеси при разных скоростях движения машины.

Горячий рециклинг — ремонт связанных битумом верхних слоев дорожной одежды путем местного разогрева, фрезерования и смешивания полученного гранулята с новым вяжущим и дополнительной свежей смесью. Использование газовых горелок в нагревательных панелях для разогрева дорожного покрытия, полное использование старого материала покрытия, точная дозировка вяжущего сводит к минимуму негативное воздействие на окружающую среду.

3.6. Утилизация транспортных средств, дорожно-строительных конструкций, захоронение отходов

Рассматриваемый этап замыкает жизненный цикл транспортного средства или участка дороги (моста) и включает операции разборки агрегатов и узлов, сортировки, переработки отдельных видов конструкционных и эксплуатационных материалов для их повторного использования, утилизации отходов. С ростом численности парка возрастает актуальность проблемы *утилизации транспортных средств*, выработавших ресурс.

Непригодные детали из конструкционных материалов сортируются по виду материала, дробятся и отправляются на переплавку. *Тяжелые металлы* поступают в двухстадийную сортировку, в результате которой отделяется медь, латунь, нержавеющая сталь, свинец, другие металлы и сплавы. Дополнительной обработке подвергают лом оцинкованных металлов. *Пластмассы*, как правило, повторно не используются и сжигаются, что сопровождается выделением значительного количества токсичных веществ в атмосферный воздух.

Переработка непригодных к ремонту (использованию) деталей и узлов осуществляется следующими способами: прессованием, резкой, обработкой в дробильных установках. Продукты переработки дробильных установок очищаются от загрязнений; тяжелые металлы отделяются от алюминиевых сплавов, которые переплавляются и выдаются в виде алюминиевых отливок.

Повторное (многократное) использование материалов является одним из путей сокращения выбросов вредных веществ, снижения энергозатрат при их производстве. В табл. 3.36 представлены значения выбросов вредных веществ и энергозатраты при производстве материалов не из ископаемого сырья, а из лома металлов (или при регенерации масел).

Таблица 3.36. Выбросы вредных веществ и энергозатраты при повторном использовании отдельных видов материалов, г/кг

Показатель	Сталь	Алюминий	Медь	Свинец	Масло
Аэрозоли	541,9	0,6	0,9	0,8	1,8
CO ₂	795,9	441	646,8	588,0	347,8
CO	864,0	3,9	82,5	36,9	7,7
NO _x	1,6	5,9	8,6	7,9	1,0
SO ₂	0,3	31	134,5	56,0	10,9
C _x H _y	—	0,04	0	—	4,5
AlF ₃	—	1,35	—	—	—
Энергозатраты, кВт · ч/кг	11,5	15,0	22,0	20,0	2,5

При регенерации отработанного моторного масла, норматив сбора которого на транспортных предприятиях составляет 30—45%, энергозатраты на гидроочистку и восстановление свойств в 20 раз меньше затрат энергии на производство масла из нефти.

Повторное использование лома алюминия, регенерация моторного масла дает максимальный эффект по уменьшению выбросов вредных веществ в сравнении с производством данных материалов из руд металлов или сырой нефти. Из других групп металлов повторное использование дает значительное уменьшение выбросов SO₂ для меди (в 8,3 раза) и стали (в 70 раз). Существенно снижаются выбросы твердых частиц при замене медного колчедана ломом меди.

На рис. 3.32 приведена схема потока материалов при утилизации грузового автомобиля, которая предусматривает 5 уровней (5 этапов) реализации [27].

Первый этап — демонтаж транспортного средства. Часть узлов и агрегатов (двигатель, коробка передач, оси, аккумулятор, шины) могут повторно устанавливаться на новых автомобилях без каких-либо ремонтных воздействий или при осуществлении ремонта, например, наварки протектора шин. Часть материалов является безвозвратно потерянной (истирание шин и др.).

Второй этап — сортировка деталей по материалам (черные и цветные металлы, пластмассы). При этом масса повторно используемых в новой конструкции черных и цветных металлов (в виде лома) может достигать до 50% массы транспортного средства.

Третий этап — пиролиз органических соединений (пластмасс или композитов) и получение кокса, нефти, газа, используемых в ка-

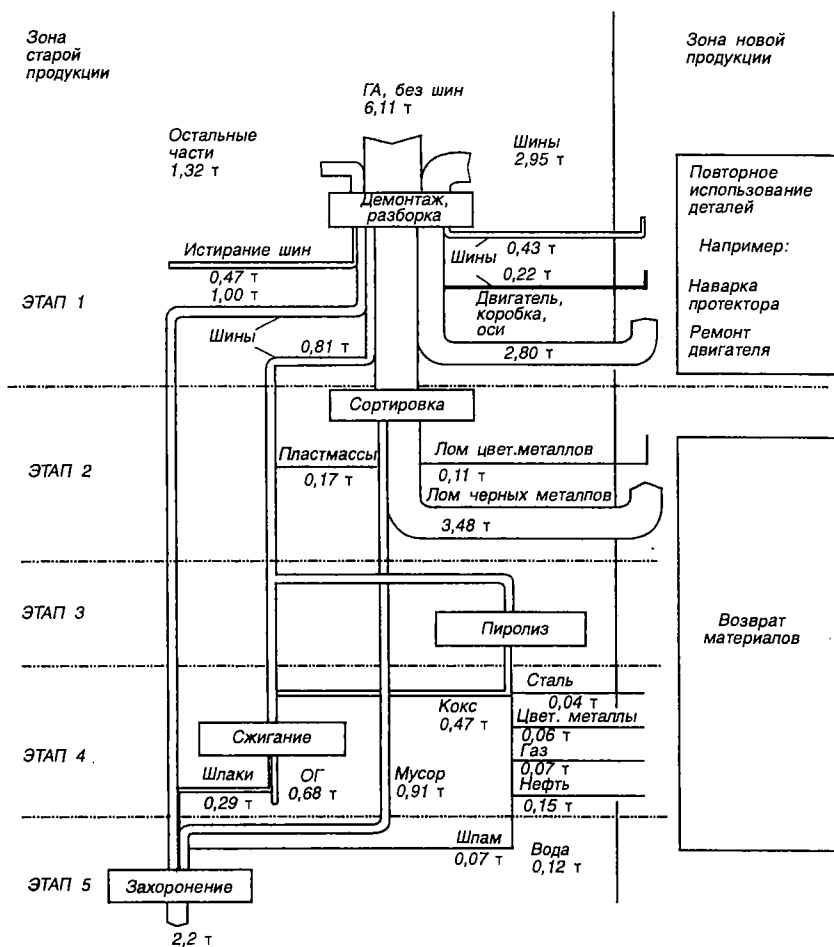


Рис. 3.32. Схема потока материалов при утилизации конструкции АТС [27]

честве энергоресурсов, а также некоторой доли черных и цветных металлов, содержащихся в композитах, которые отправляются на переплавку.

Четвертый этап — процесс сжигания остатков шин, пластмасс и получение тепловой энергии с выделением шлаков, отработавших газов.

Пятый этап — захоронение отходов, образующихся на каждом из предыдущих этапов утилизации.

В результате реализации данной технологии подлежат захоронению отходы, масса которых составляет не более 30% от массы транспортного средства.

При утилизации легкового автомобиля среднего класса удельные (на 1 кг массы АТС) энергозатраты составляют 0,12 кг SKE ($1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 123 \cdot 10^{-3} \text{ кг SKE}$), выбросы (г/кг): CO_2 — 370; SO_2 — 1,07; NO_x — 4,4; твердые частицы — 0,4; CO — 1,6; C_xH_y — 0,8. Величина твердых отходов — 172,4 г/кг массы автомобиля [28].

Технологии утилизации дорожно-строительных, прежде всего железобетонных конструкций используются с целью расширения ресурсной базы дорожного строительства, т.е. повторного использования строительных материалов и лома арматурной стали. Свойства бетона как композиционного материала зависят от свойств составляющих, их количественного содержания и прочности сцепления составляющих в зоне контакта. Одной из причин его разрушения является низкое сопротивление бетона действию растягивающих напряжений и развитие трещин, особенно в зоне контактов между цементным камнем, мелким и крупным заполнителем.

Процесс разрушения зависит от предельных напряжений или предельной энергии деформирования материала. Из строительной механики известно, что разрушение бетона при приложении внешней линейно распределенной нагрузки (рис. 3.33, а, б) происходит от действия растягивающих напряжений [30].

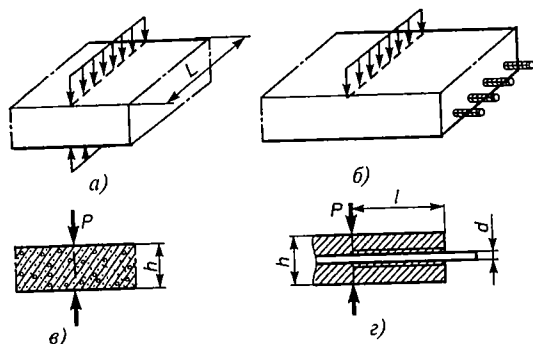


Рис. 3.33. Схемы загрузки бетонных изделий при разрушении:

а, в — схемы приложения нагрузок; б, г — схемы разрушения бетона

Предельные растягивающие напряжения бетона σ_R (МПа) оцениваются по формуле

$$\sigma_R = 2Pl/(\pi hL), \quad (3.30)$$

где P — разрушающая нагрузка, кН; h — толщина изделия, м; L — длина изделия, м.

При разрушении железобетонных изделий (рис. 3.33, в, г) разрушающая нагрузка должна преодолеть не только предельные растя-

гивающие напряжения в зоне разрушения бетона σ_R , но и условное напряжение сцепления с поверхностью арматуры. Тогда общая разрушающая нагрузка P_0 будет равна нагрузке разрушения бетона P_6 и нагрузке разрушения в зоне нарушения контактов бетона с арматурой:

$$P_0 = P_6 + \sigma_{\text{сц}} l u n, \quad (3.31)$$

где $\sigma_{\text{сц}}$ — напряжение сцепления в месте контакта бетона с арматурой, МПа; l — зона контактного разрушения (20—30 d , d — диаметр стержня); u — периметр стержня; n — число стержней.

Для создания разрушающих нагрузок широко используются гидравлические и пневматические молоты, так как у них удельные затраты энергии значительно ниже, чем при статистических методах разрушения. В гидравлических молотах ударная энергия создается с помощью жидкости, нагнетаемой под давлением 13—15 МПа. По сравнению с пневматическими они имеют меньший уровень шума, вибрации и пылеобразования при работе, но не пригодны для работы под водой.

В схемах переработки некондиционного бетона и железобетона используются обычно установки первичного дробления (разрушения), извлечения арматурных изделий, вторичного дробления, фракционирования и получения товарного щебня, а также высвобождения арматурной стали при наличии системы водоочистки. Для промывки материала и удаления органических соединений требуется порядка 0,7 м³/ч воды на каждую тонну готовой продукции (щебня).

Технология переработки любых строительных отходов, образующихся в процессах промышленно-транспортной деятельности, осуществляется по схеме, приведенной на рис. 3.34, и включает кроме рассмотренных процессов предварительную сортировку (удаление больших кусков дерева) и предварительное просеивание частиц менее 10 мм для удаления мелких примесей [30]. Уменьшение крупности частиц материала проводится в два этапа. Для первичного дробления применяются щековые или молотковые дробилки, а на втором этапе — щековые, ударные или конусные дробилки. Обрезки арматуры удаляются с помощью электромагнитов. На следующем этапе осуществляется промывка для отделения из вторичного материала с помощью шнековой промывочной машины таких фракций, как дерево, бумага, пластмасса. После вторичного дробления с помощью молотковой дробилки материал просеивается до получения необходимой крупности и гранулометрического состава. Полученный вторичный (дробленый) щебень, другие заполнители используются в строительной индустрии, в том числе при строительстве дорог.

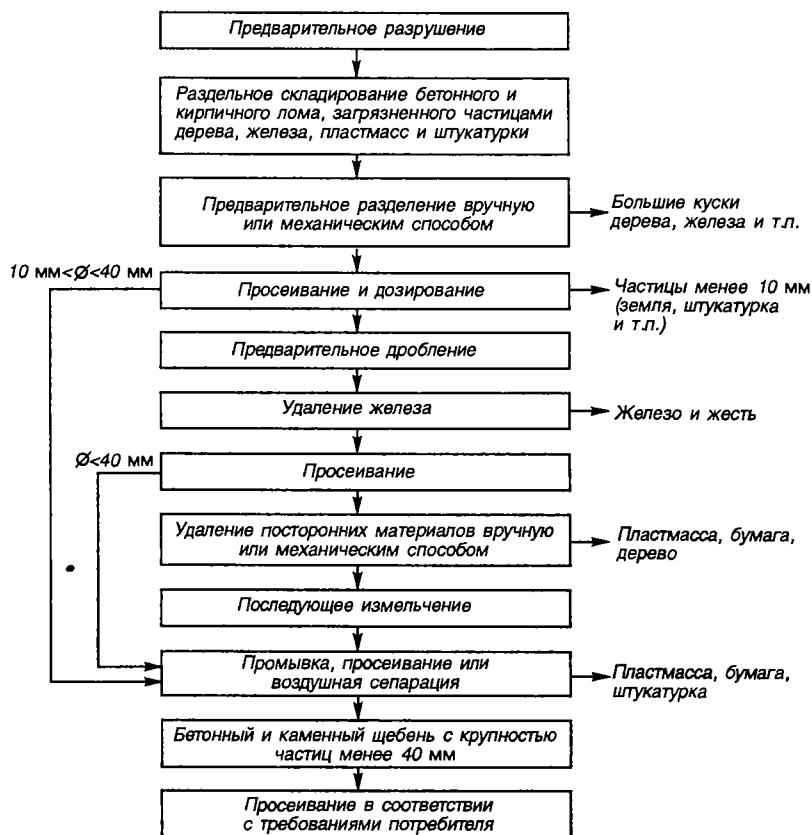


Рис. 3.34. Технологическая схема переработки строительных отходов

В процессе утилизации объектов транспорта часть материалов не подлежит повторному использованию и должна быть захоронена или утилизирована промышленными методами. Захоронение *на свалках* (рис. 3.35) — самый распространенный способ избавления от отходов.

Другой способ — *переработка промышленных отходов* на специальных полигонах. Осуществляется сбор, обезвреживание и захоронение токсичных отходов, содержащих ртуть, мышьяк, свинец, цинк, олово, кадмий, никель, сурьму, висмут, кобальт, отходы гальванического производства, органические растворители, пластмассы, нефтепродукты.

При этом производят термическое обезжиривание отходов органического происхождения с утилизацией теплоты, прокаливание пе-

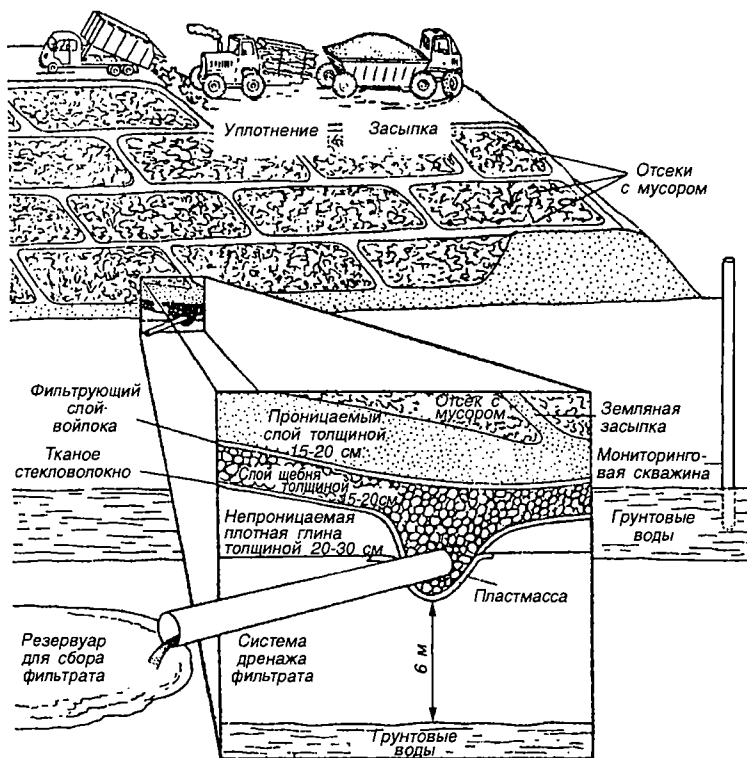


Рис. 3.35. Схема организации свалки с защитой грунтовых вод [3]

ска и формовочных смесей, затаривание отходов в герметичные контейнеры и их захоронение.

Осадки сточных вод очистных сооружений обезвреживаются в следующей последовательности:

- уплотнение осадков гравитационным или флотационным методом;
- разрушение биологически разлагаемой части органического вещества в аэротенках;
- разрушение коллоидной структуры осадков — тепловая обработка, замораживание, электрокоагуляция;
- обезвоживание осадков для получения полидисперсной твердой фазы;
- утилизация, захоронение осадков (в накопителях или земляных пустотах).

Для утилизации твердых бытовых отходов используется также *термическая переработка* отходов на мусоросжигательных заводах

с рекуперацией тепловой энергии. Однако в этом случае при сжигании хлорорганических веществ и хлорполимеров появляются в отходящих газах мусоросжигательных заводов диоксины и другие токсичные вещества. При сжигании 1 т отходов образуется 320 кг шлака, 30 кг летучей золы и 6000 м³ дымовых газов, содержащих хлоро- и фтороводород, диоксид серы, оксиды азота и углерода, а также углеводороды. Алюминий, медь, цинк, олово, хром, ртуть, свинец, кадмий — в основном осаждаются на частицах летучей золы. Преимущества: объем отходов снижается на 70% (прессование позволяет снизить объем на 20—40%); шлаки легче поддаются утилизации. Оптимальное решение — строительство комбинированных мусороперерабатывающих заводов, обеспечивающих в процессе переработки отходов их предварительную механическую сортировку.

Технологический процесс предусматривает операции:

- извлечение черных, цветных металлов, в том числе олово-содержащих компонентов, стеклобоя, электробатареек, текстильных компонентов для последующего использования или ликвидации;

- термообработка обогащенной и подсушенной органической фракции при температуре 363—373 К и последующее производство из нее брикетов топлива или ее прямое сжигание, или направление на компостирование;

- переработка обогащенных шлаков в строительно-дорожные материалы;

- термическая переработка оставшейся части.

Завод, работающий по комбинированной технологии, дает всего 15% отходов (по массе).

Безотходное производство — принцип организации и функционирования производства, в котором рационально используются все компоненты сырья и энергии в замкнутом цикле (первичные сырьевые ресурсы — производство — потребление — вторичные сырьевые ресурсы) без нарушения сложившегося экологического равновесия в биосфере (рис. 3.36) [5].

3.7. Экологический баланс транспортного средства в жизненном цикле

Суммарные энергозатраты на заданном пробеге АТС до списания равны

$$E = E_{\text{изг}} + m_{\text{т}} H_{\text{и}} + E_{\text{тор}} + E_{\text{кр}} N_{\text{кр}} + E_{\text{кэм}}, \quad (3.32)$$

где $E_{\text{изг, тор, кр, кэм}}$ — энергозатраты при изготовлении, выполнении технического обслуживания и текущего ремонта (ТОР), капитального

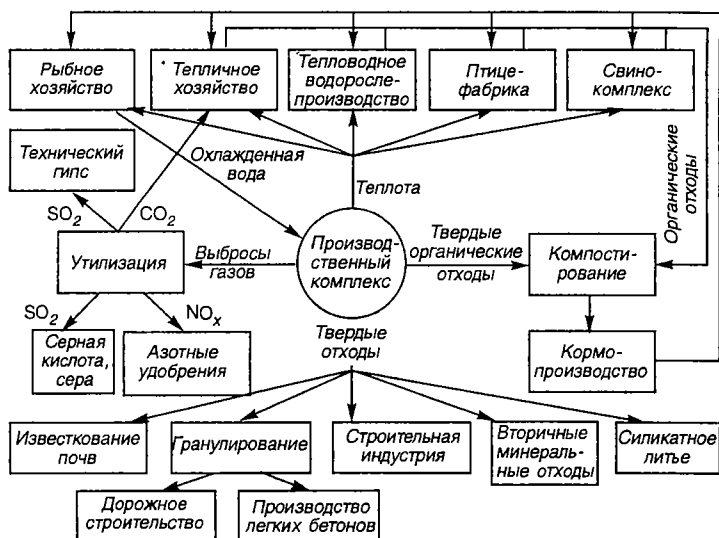


Рис. 3.36. Принципиальная схема безотходного промышленного производства

ремонта (КР) АТС, а также при производстве конструкционных и эксплуатационных материалов (КЭМ), расходуемых в ЖЦ, кВт·ч; m_t — масса топлива, потребляемого АТС на пробеге до списания; H_u — теплота сгорания топлива; $N_{кр}$ — количество капитальных ремонтов АТС до списания.

Суммарная масса (кг) потребляемых материалов:

$$m_i = m_{АТС} + m_{изг} + m_{кр} N_{кр} + m_{тор} + m_{зч} + m_{раб}, \quad (3.33)$$

где i — группа материала ($i=12$); m_i — потребление КЭМ i -й группы в соответствующем элементе ЖЦ; $m_{АТС}$ — масса АТС; $m_{зч}$ — масса конструкционных материалов, потребляемых в виде запчастей; $m_{раб}$ — масса эксплуатационных материалов (топливо, масло), потребляемых при выполнении транспортной работы.

Суммарные валовые (кг) выбросы j -го вещества:

$$W_j = W_{изг} + W_{раб} + W_{тор} + W_{кр} + W_{кэм}. \quad (3.34)$$

В табл. 3.37 приведен экологический баланс легкового автомобиля полной массой 1160 кг, оснащенного окислительно-восстановительным нейтрализатором отработавших газов, имеющего расход топлива 10 л/100 км, ресурс — 130 000 км, срок службы — 10 лет [28].

Т а б л и ц а 3.37. Экологический баланс легкового автомобиля, %

Параметр	Этапы жизненного цикла					Всего г/кг массы
	получение сырья и материалов	транспорт сырья	производство	эксплуатация	утилизация	
Энергозатраты	15,6	3,5	9,2	71,1	0,6	19,7*
CO ₂	16,1	3,0	6,0	74,2	0,7	51,5**
SO ₂	27,9	45,4	8,2	14,7	3,8	28,3
NO _x	12,7	24,6	4,7	52,3	5,7	77,2
Твердые частицы	38,1	38,1	9,5	4,8	9,5	3,62
CO	8,3	2,7	0,2	88,3	0,5	317,3
C _x H _y	33,5	6,7	0,6	57,8	1,4	54,2
Бензол C ₆ H ₆	—	—	—	100	—	0,7
Формальдегид СННО	—	—	—	100	—	0,175
Частицы дорожного покрытия	—	—	—	100	—	15,1
Частицы шин	—	—	—	100	—	0,65
Частицы тормозных накладок	—	—	—	100	—	0,13
Свинец	—	—	—	100	—	0,08
Хром	—	—	—	100	—	0,8 · 10 ⁻³
Медь	—	—	—	100	—	9,5 · 10 ⁻³
Никель	—	—	—	100	—	1,0 · 10 ⁻³
Цинк	—	—	—	100	—	21,6 · 10 ⁻³
Платина	—	—	—	100	—	1,12 · 10 ⁻⁶
Кадмий	—	—	—	100	—	0,3 · 10 ⁻³
Нефтепродукты	—	—	—	100	—	0,01***
Твердые отходы	94,3	—	5,66	—	0,04	22,8**

* кг SKE/кг;

** кг/кг;

*** л/кг.

Аналогично может быть определен экологический баланс не только автомобиля, но и строительно-дорожной машины, дороги, любого другого инженерного сооружения, а также отдельных энергоустановок, например, транспортных средств.

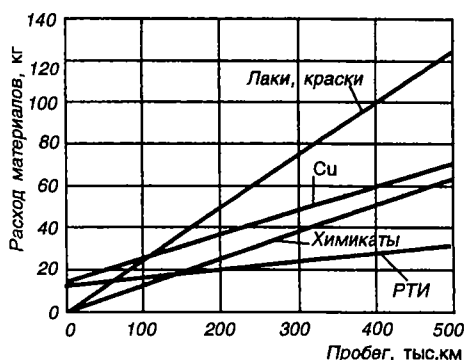
Возьмем для примера энергоустановку грузового АТС ГАЗ-3307 на пробегах его до списания в диапазоне 100—500 тыс. км.

Потребление материалов.

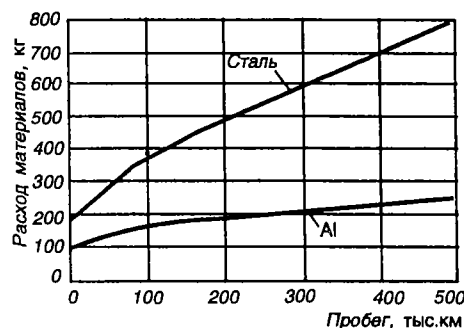
При оценке объемов потребления черных и цветных металлов, резинотехнических изделий, лакокрасочных материалов и химикатов зависимость $M_i=f(L_a)$ имеет вид непрерывной функции (рис. 3.37), приближающейся к линейной. Эти материалы потребляются преимущественно при осуществлении операций обслуживания и ремонта (ТОР). С ростом пробега их потребление возрастает, несмотря на то, что этап капитального ремонта дает скачкообразное изменение рассматриваемой функции от пробега.

Потребление свинца, кислоты, антифриза на 80—90% связано с заменой аккумуляторной батареи, антифриза при выполнении ТОР. Поэтому зависимость $M_i=f(L_a)$ является ступенчатой (рис. 3.38). Сложнее вид этой функции для пластмасс (рис. 3.38, б) и моторного масла. Потребление пластмасс происходит преимущественно при выполнении ТОР, а также при замене аккумуляторных батарей (до 86% объема потребления их в жизненном цикле).

Расход моторного масла (рис. 3.39) происходит при выполнении транспортной работы вследствие угара (до 89%), а также сме-



а)



б)

Рис. 3.37. Зависимость расхода отдельных видов конструкционных материалов от пробега АТС ГАЗ-3307 в жизненном цикле его энергоустановки:

а — лаки, краски, медь, химикаты, РТИ; б — сталь, алюминий

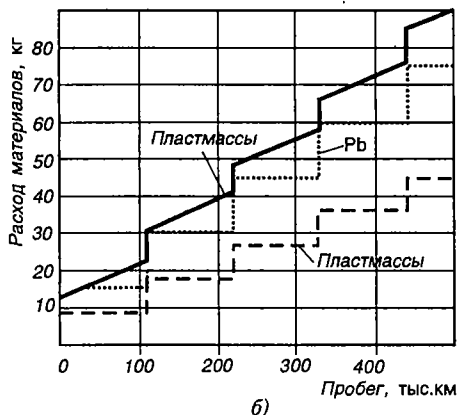
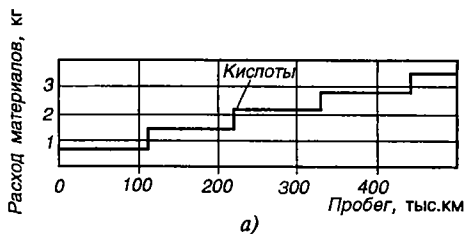


Рис. 3.38. Зависимость объема потребления кислот свинца, пластмасс в ЖЦ ЭУ автомобиля ГАЗ-3307 от пробега до списания:

а — кислоты; б — пластмассы, свинец

Выбросы вредных веществ. Как отмечалось выше, на этапе выполнения транспортной работы в основном выбрасываются CO_2 , CO , C_xH_y , NO_x , твердые частицы (аэрозоли), SO_2 , соединения свинца. На этапах изготовления, обслуживания и ремонта выделяются пары растворителей, аэрозоли оксидов металлов, а в водную среду — химикаты, кислоты, щелочи, нефтепродукты. На этапе производства материалов выбрасываются также H_2S , AlF_3 , CrO_3 .

Объемы их составляют: CO — 80 т, C_xH_y — около 10 т, NO_x — 3 т, твердые частицы (аэрозоли) — 1,5 т, CO_2 — 5,5 т (рис. 3.40).

Выбросы вредных веществ при нулевом пробеге АТС не превышают 2—3% суммарных выбросов веществ. На рис. 3.41 приведено распределение выбросов CO на отдельных этапах ЖЦ рассматриваемого объекта.

В случае установки на автомобиль каталитического нейтрали-

ны его через каждые 10 тыс. км пробега. На этапе выполнения транспортной работы потребляется до 99,9% моторного топлива. Учет изменения расхода топлива в зависимости от технического состояния (пробега до КР двигателя) приводит к возникновению перегибов на кривой $M_i=f(L_a)$ (рис. 3.39).

Учет изменения технического состояния двигателя (по причине износа) при оценке экологического баланса дает прибавку в общий объем топливопотребления в 36% на пробеге до списания 500 тыс. км.

Таким образом, расход материалов в ЖЦ рассматриваемой энергоустановки составляет 800 кг черных металлов (в 1,8 раза больше массы двигателя), 300 кг цветных металлов, 220 кг антифриза, 200 кг лакокрасочных материалов, 90 кг пластмасс, 170 т топлива и 3,5 т моторного масла.

Рис. 3.39. Зависимость расхода топлива и масла от пробега АТС ГАЗ-3307 до списания

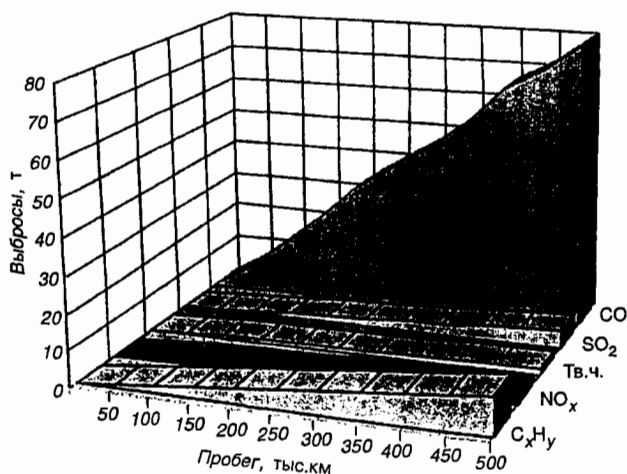
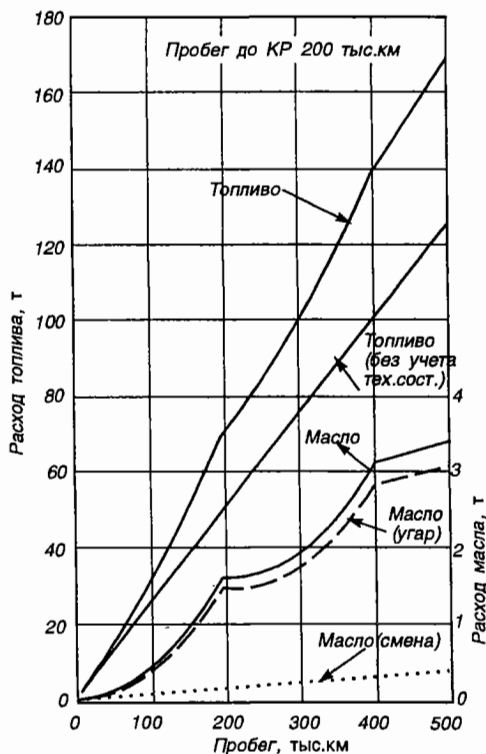


Рис. 3.40. Суммарные выбросы вредных веществ ЖЦЭУ автомобиля ГАЗ-3307 на разных пробегах до списания

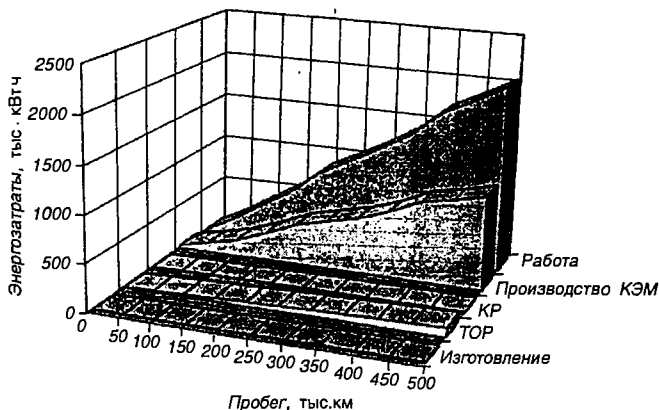


Рис. 3.41. Зависимость энергозатрат на разных этапах ЖЦ ЭУ АТС ГАЗ-3307 от пробега автомобиля до списания

затора окислительного типа объем выбросов CO и C_xH_y в ЖЦ существенно снизится. Так, снижение выбросов CO составит почти 35 т, т.е. почти в 2 раза.

Энергозатраты сопровождают любую технологическую операцию на всех этапах жизненного цикла и имеют разные формы перехода энергии от наиболее организованных (энергия первичных и вторичных энергоносителей) в менее организованные (теплоту, механическое трение и др.). Доля энергозатрат при изготовлении и выполнении капитального ремонта в суммарном энергопотреблении мала и не превышает 0,2%.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПАРКА МАШИН И ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Одиночный автомобиль, движущийся по дороге, не в состоянии оказать сколько-нибудь заметного влияния на окружающую среду и экосистемы. Иное дело — совокупность машин, движущихся в составе транспортных потоков по автомобильным дорогам и перевозящих грузы и пассажиров. Здесь влияние на окружающую среду определяется не только техническими характеристиками автомобиля или дороги, но и интенсивностью, скоростью движения, составом транспортного потока, плотностью дорожной сети.

Объемы грузовых перевозок диктуются экономическими характеристиками производственной инфраструктуры, конкуренцией других видов транспорта, пассажирских — демографическими факторами, уровнем благосостояния населения. Провозная способность дороги определяется ее конструкцией, способами организации движения, обеспечивающими безопасность участников движения и реализацию потенциальных свойств, заложенных в конструкцию автомобиля.

Необходимо понимание предельно допустимого уровня насыщения локальных территорий автомобильным парком и транспортной инфраструктурой, выход за которые приведет к локальной экологической катастрофе. Исходная информация — темпы роста численности автомобильного парка, протяженности дорог, интенсивность использования, технический уровень и техническое состояние дорожно-транспортной техники, дорожной сети.

Загрязнения окружающей среды транспортным комплексом можно условно разделить на *технологические* (дорожно-строительных машин, специальных транспортных средств дорожных предприятий, асфальтобетонных заводов, баз техники — от точечных источников) и *транспортные* (транспортных потоков — линейных источников).

Объем транспортных выбросов вредных веществ в атмосферу на дорогах общего пользования почти в два раза больше объема технологических выбросов. Технологические выбросы *твердых частиц, оксидов серы, минеральной пыли* сопоставимы с выбросами этих веществ транспортными потоками. Ежегодные объемы технологи-

ческих выбросов CO , C_xH_y , NO_x в 5—10 раз меньше объемов выбросов этих веществ транспортными потоками.

К транспортным выбросам относятся токсичные вещества с отравляющими газами автомобилей, продукты износа шин, антифрикционных материалов, нефтепродукты, эксплуатационные жидкости, изношенные детали и агрегаты, включая шины, аккумуляторы.

4.1. Автотранспортные потоки. Множество машин (автомобильный парк)

Движение АТС в составе плотных транспортных потоков на дорожной сети отличается от движения одиночного АТС при отсутствии помех движению, которое имеет место при проведении испытаний по оценке токсичности и топливной экономичности. Связанное с этим изменение условий движения (скоростей, ускорений) влечет изменение нагрузочно-скоростных режимов работы двигателей, значений выбросов вредных веществ, шума, расходов топлива АТС.

Транспортные потоки оказывают наибольшее влияние на уровень загрязнения окружающей природной среды. Основные влияющие факторы: состав, интенсивность, скорость и ускорение движения транспортного потока; технический уровень и эксплуатационное состояние автомобилей; объем и номенклатура перевозимых грузов.

4.1.1. Выбросы вредных веществ, расход топлива, шум транспортного потока

Выбросы $[\text{кг/ч}\cdot\text{км}]$ вредных веществ (расход топлива) транспортным потоком на *перегонах* определяются по формуле

$$Y_1 = \sum_i \sum_j \sum_k w_j P_{ki} N_a, \quad (4.1)$$

где w_j — пробеговый расход топлива или выбросы j -го вида, г/км ; P_{ki} — вероятность попадания k -й группы АТС в i -й диапазон скоростей движения потока (см. подробнее раздел 6.3.2); N_a — интенсивность потока, авт/ч .

Вероятность попадания различных групп автомобилей в заданные диапазоны скоростей движения (P_{ki}) может быть определена по результатам измерений или с использованием имитационной модели движения одиночных АТС в транспортном потоке с включением элементов искусственного интеллекта, разработанной в МАДИ-ТУ [44].

В диапазоне изменений интенсивности потока 50—1200 авт/ч на полосу, численности грузовых АТС и автобусов в потоке 0—50%

для оценки выбросов и расхода топлива вместо выражения (4.1) можно использовать упрощенные зависимости вида [кг/ч·км]:

$$Y_1 = \begin{cases} A_{j1}^T N_a & \text{при } S_{га} < 5\%, \\ A_{j2}^T N_a & \text{при } 5\% < S_{га} < 25\%, \\ A_{j3}^T N_a & \text{при } S_{га} > 25\%, \end{cases} \quad (4.2)$$

где $A_{j1,2,3}^T$ — коэффициенты регрессии, кг/(авт·км); $S_{га}$ — доля грузовых АТС и автобусов в потоке, %.

В табл. 4.1 приведены значения коэффициентов A_j^T для оценки расходов топлива и выбросов транспортным потоком на перегонах в формуле (4.2) при разных составах транспортного потока.

Выбросы, расход топлива транспортным потоком на *перекрестке* (в узле), можно определить по формуле (кг/ч):

$$Y_2 = \begin{cases} k_{11} N_y t_c + L_y k_{21} N_y & \text{при } S_{га} < 5\%, \\ k_{12} N_y t_c + L_y k_{22} N_y & \text{при } 5\% < S_{га} < 25\%, \\ k_{13} N_y t_c + L_y k_{23} N_y & \text{при } S_{га} > 25\%, \end{cases} \quad (4.3)$$

где $k_{11,12,13}$, $k_{21,22,23}$ — коэффициенты регрессии при оценке w -го параметра для стоящей и движущейся частей потока, кг/(ч·авт) и кг/(авт·км); N_y — интенсивность потока в узле, авт/ч; t_c — время горения запрещающего сигнала светофора, ч; L_y — длина очереди перед перекрестком (зона влияния перекрестка), км.

Т а б л и ц а 4.1. Значения коэффициентов регрессии в формуле (4.2)

Показатель	$S_{га} > 25\%$	$5\% < S_{га} \leq 25\%$	$S_{га} \leq 5\%$
<i>Расход топлива, л/(авт·км)</i>			
Бензин	0,166	0,133	0,101
Дизтопливо	0,030	0,0144	0,0026
СНГ	0,0026	0,0013	0,00027
СПГ*	0,00083	0,0004	0,000046
<i>Выбросы вредных веществ, г/(авт·км)</i>			
СО	11,68	7,73	5,39
$C_x H_y$	1,95	1,3	0,89
NO_x	2,25	1,44	0,7
Твердые частицы	0,03	0,0142	0,004
CO ₂	306	196	121
<i>Потребление O₂</i>	348	223	138

* м³/(авт·км); СНГ — сжиженный нефтяной газ; СПГ — сжатый природный газ.

В формуле (4.3) значения $k_{21,22,23}$ определяются из выражения

$$k_{21,22,23} = A_{j,2,3}^T (1 + k_p + k_3) / 3, \quad (4.4)$$

где k_p , k_3 — коэффициенты, учитывающие изменение выбросов при разгоне и замедлении АТС (см. формулы 3.13, 3.14 и табл. 3.18).

На рис. 4.1 приведены зависимости погонных выбросов CO , C_xH_y и NO_x транспортным потоком на полосу движения от интенсивности и состава потока на перегонах и в узлах (перекрестках) дорожной сети.

Если привести данные к одной размерности, окажется, что выбросы в окрестностях перекрестков в 5—8 раз выше выбросов транспортного потока при движении на перегонах (при отсутствии светофоров).

В табл. 4.2 приведены результаты аппроксимации зависимости

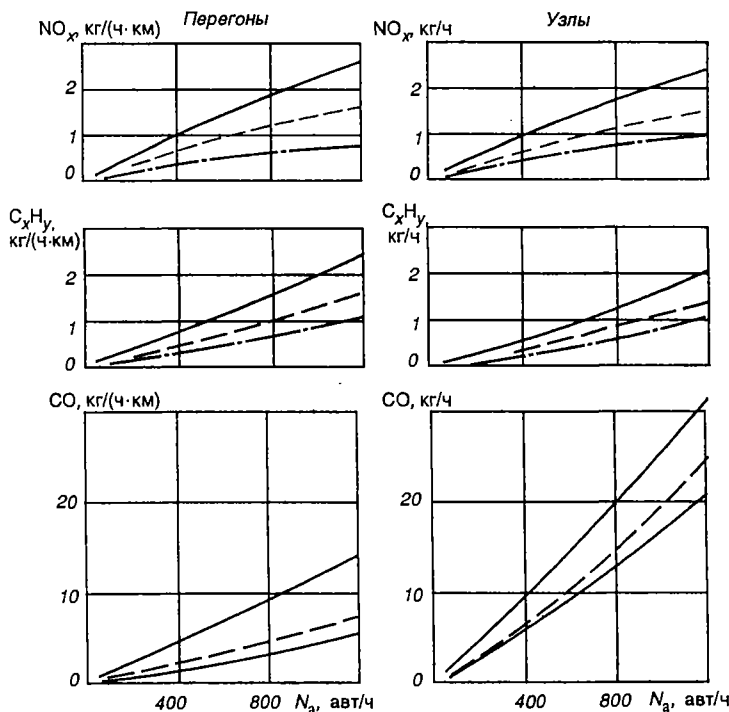


Рис. 4.1. Зависимости выбросов вредных веществ от интенсивности транспортного потока (на одну полосу движения) на перегонах и в узлах при разном составе транспортного потока (доля легковых/грузовых/автобусов в потоке, %):
 — 50/40/10; - - - - - 75/20/5; - · - · - 95/0/5

выбросов от интенсивности реальных транспортных потоков уравнениями регрессии вида $[г/(км·ч)]$:

$$Y = A_3 N_a^3 + A_2 N_a^2 + A_1 N_a, \quad (4.5)$$

где N_a — интенсивность транспортного потока, авт/ч (диапазон изменения 50—1200 авт/ч на полосу движения).

Удельные (на единицу пути в единицу времени) выбросы транспортных потоков можно оценить не только по приведенной выше методике, но и с использованием других методик, распространенных в России [31] или в странах Европейского Союза [32,33].

Т а б л и ц а 4.2. Значения коэффициентов регрессии в уравнении (4.5), г/(авт·км)

Показатель	A_1	A_2	A_3	R^2
CO ₂ *	119,67	-0,816	0	0,96
CO	2685,1	8,104	0	0,953
CH	350,06	7,8969	0	0,973
NO _x	1227,3	-30,973	0,0941	0,915
Твердые частицы	11,81	-0,1558	0	0,93
Расход топлива*	39,89	-0,272	0	0,959

* кг/(км·ч).

Таким образом, при замеренных интенсивностях и составе транспортных потоков на каком-либо участке дороги или пересечения, или дорожной сети в целом выбросы вредных веществ, а также расходы топлива могут быть определены расчетным путем с использованием приведенных выше зависимостей.

Уровень шума транспортного потока также определяется интенсивностью и составом потока (рис. 4.2), прежде всего долей грузовых автомобилей в потоке. Увеличение средней скорости транспортного потока однозначно приводит к повышению уровня шума. Эквивалентный уровень шума потока может быть снижен на 2—3,5 дБА, если шум одиночных легковых АТС в составе потока снизить с 78 до 75 дБА, а грузовых — с 85 до 80 дБА (доля грузовых АТС в потоке 10—30%).

Эквивалентный уровень транс-

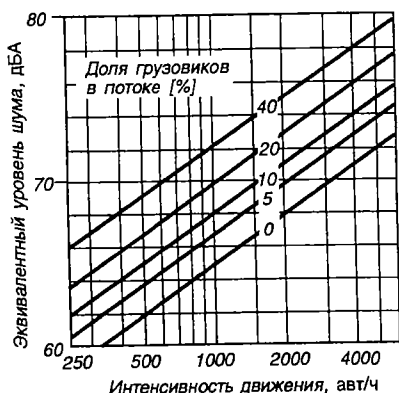


Рис. 4.2. Зависимости уровня шума от интенсивности и состава транспортного потока (на расстоянии 40 м от середины ближайшей полосы движения) (данные МАДИ-ТУ)

портного шума (по П. И. Поспелову) на расстоянии 7,5 м от оси ближайшей полосы движения определяется по формуле (дБА):

$$L_{\text{экр}} = 50 + 8,8 \lg N_a + \Delta L_i, \quad (4.6)$$

где N_a — расчетная интенсивность движения при средней скорости потока 40 км/ч, авт/ч; ΔL_i — поправки по i -му фактору влияния (состав, скорость потока, тип дорожного покрытия, продольный уклон дороги).

Другие авторы для оценки шума транспортного потока рекомендуют использовать формулу (ссылка в [24])

$$L_{\text{экв.р}} = 10 \lg N_a + 13,3 \lg v + 8,4 \lg S_{\text{га}} + 9,5, \quad (4.7)$$

где $L_{\text{экв.р}}$ — расчетное значение эквивалентного уровня звука в точке на расстоянии 7,5 м от оси крайней полосы движения на высоте 1,5 м от уровня проезжей части, дБА; N_a — расчетная интенсивность движения, авт/ч; v — скорость движения, км/ч; $S_{\text{га}}$ — доля грузовых автомобилей и общественного транспорта в составе транспортного потока, %.

Резкое изменение режима движения транспорта (разгон, торможение, обгон, остановка) влияют на уровень шума в пределах 2—3 дБА. При пересечении в разных уровнях, слиянии потоков одинаковой интенсивности и состава, на перекрестках с регулируемым движением средний уровень шума увеличивается на 3 дБА.

4.1.2. Выбросы вредных веществ, потребление ресурсов парком машин

При оценке воздействия на окружающую среду транспортных потоков остаются вне поля зрения вопросы развития автомобильного парка на уровне множества машин, которые оказывают существенное влияние на уровень загрязнения воздуха, воды, почвы.

В числе этих вопросов — динамика насыщения парка транспортными средствами с определенным уровнем экологической безопасности, тенденции его старения, оптимизация его структуры по грузоподъемности и пассажировместимости.

Особенно это важно для урбанизированных территорий, на которых динамика прироста протяженности дорожной сети (из-за отсутствия свободных земель) значительно отстает от динамики численности автомобильного парка. В этом случае проблемы снижения выбросов загрязняющих веществ и потребления природных топливно-энергетических ресурсов (нефтяного топлива) множества машин становятся особенно значимыми.

Количественная оценка объемов топливопотребления, валовых выбросов вредных веществ парком машин осуществляется с исполь-

зованием методики, в которой предусмотрено решение дифференциального уравнения численности парка по времени t вида:

$$dN(t)/dt = (1+a)w_{\pi} - (1+b)\lambda_{\pi}N(t), \quad (4.8)$$

где $N(t)$ — численность парка АТС в год t ; w_{π} , λ_{π} — показатели поставок АТС в парк и выбытия их из парка; a , b — коэффициенты, учитывающие переменность во времени показателей под влиянием различных факторов, например, из-за спадов автомобильного производства, социально-экономических условий и др.

На рис. 4.3 в качестве примера показана динамика роста численности автомобильного парка России за последние 30 лет. Здесь же приведены данные о динамике роста протяженности сети дорог общего пользования.

Опережающие темпы роста численности автомобильного парка по сравнению с темпами роста протяженности дорог общего пользования, усугубляемые неравномерным распределением транспортных потоков на сети, способствовали в последние годы росту негативного воздействия транспорта на проживающее вблизи автомагистралей население и придорожные экосистемы.

Если стремиться к достижению международных стандартов по уровню автомобилизации (не менее одного автомобиля в семье) и созданию опорной сети дорог с твердым покрытием между всеми крупными населенными пунктами, регионами (1,1—1,5 млн. км), то тенденция опережающего роста численности парка машин по сравнению с приростом протяженности дорог сохранится и в последующие годы.

Как показано в гл. 3, пробег АТС с начала эксплуатации оказывает заметное влияние на выбросы вредных веществ и потребление ресурсов. Учет возрастной структуры парка осуществляется либо с использованием данных статистической отчетности или при принятии гипотезы об изменении возрастной структуры парка (в случае

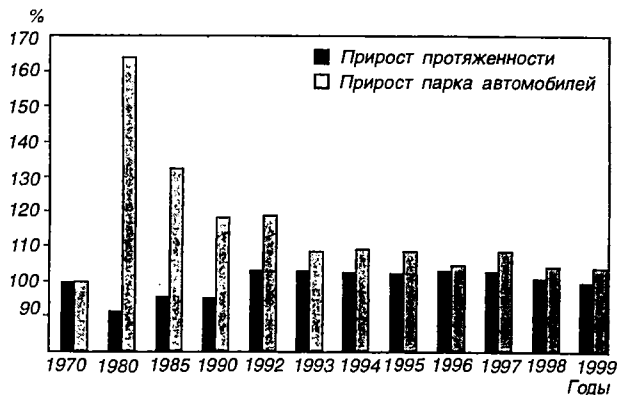


Рис. 4.3. Прирост численности автомобильного парка России и протяженности сети дорог общего пользования

отсутствия статистических данных или выполнении прогнозов) по зависимости вида:

$$Y(t) = A_0 \exp(-bt), \quad (4.9)$$

где b — параметр, характеризующий изменение коэффициента технического использования $k_{\text{тн}}$, который учитывает влияние возраста на интенсивность использования (годовой пробег) АТС.

Принимая, что технически исправный АТС всегда используется на линии, его годовой пробег в $t=1,2,3,\dots,n$ год с начала эксплуатации (км) можно определить по формуле

$$L(t) = L_0 k_{\text{тн}}(t) = L_0 \exp(-bt), \quad (4.10)$$

где L_0 — пробег нового автомобиля в первый год эксплуатации.

Одновременно с корректировкой пробега в каждой из k возрастных групп по m моделям АТС осуществляется корректировка расходов топлива и выбросов вредных веществ по формулам вида:

$$Q_s(t) = Q_{s0} k_{Q_s}(t); \quad w_j(t) = w_{j0} k_{w_j}(t), \quad (4.11)$$

где w_{j0} , Q_{s0} — пробеговый выброс j -го вещества и расход топлива АТС; $k_{w_j}(t)$, $k_{Q_s}(t)$ — поправочные коэффициенты, зависимости которых от пробега АТС описываются регрессионной зависимостью [формула (3.17) и табл. 3.21].

Валовые выбросы и расход топлива по каждой возрастной группе и в целом по рассматриваемой модели АТС, входящих в парк и парку в целом, определяются как (кг/год):

$$W_{kj} = \sum_k \sum_m w_{ji}(t) N_i(t) L_a(t) 1000; \quad m_{Q_s} = \sum_k \sum_m Q_{si}(t) p N_i(t) L_a(t) 100, \quad (4.12)$$

где k — число рассматриваемых возрастных групп; m — число рассматриваемых моделей АТС в парке.

Знание об объемах сожженного топлива и выбросов вредных веществ автомобильным парком важно при постановке оптимизационных задач, связанных с формированием долгосрочной технической политики развития транспортной системы, — прогнозной численности и структуры автомобильного парка.

4.2. Дорожная сеть

Влияние на окружающую среду дорожной сети как совокупности инженерных сооружений проявляется постепенно. Однако эта группа воздействий опасна своими последствиями. Постоянный рост сети автомобильных дорог общего пользования вызывает деградацию природных экосистем.

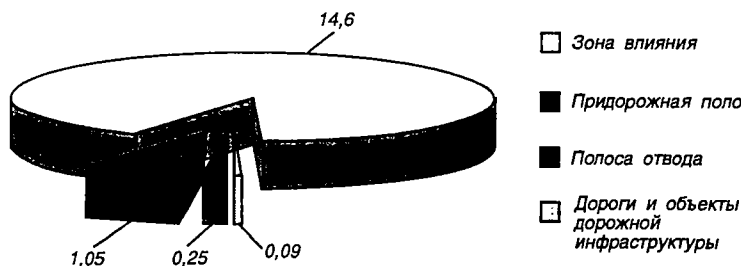


Рис. 4.4. Зона влияния автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации на прилегающие территории (1998), млн.га

В настоящее время дорожная сеть России и объекты транспортной инфраструктуры оказывают негативное влияние на окружающую среду на площади более 15 млн. га (рис. 4.4).

Зона влияния дороги на параметры окружающей среды (ширина полосы избыточного загрязнения, когда по решению санитарно-экологических органов может быть запрещена хозяйственная деятельность) в зависимости от интенсивности движения и при отсутствии лесонасаждений составляет 95—214 м (данные ГипродорНИИ). При наличии лесонасаждений ширина полосы избыточного загрязнения сокращается до 75—154 м.

Оседающие на покрытия автодорог и в придорожной полосе пыль, продукты износа покрытий, шин и тормозных накладок, топливно-смазочные, антигололедные и другие материалы приводят к чрезмерному насыщению вод поверхностного стока и почвы взвесями, нефтепродуктами, солями, химическими веществами, которые затем попадают в водотоки. Почти 2 тыс. т асбеста, 50 тыс. т резиновой пыли, 2 тыс. т соединений свинца и других тяжелых металлов ежегодно оседают в придорожной полосе на расстоянии до 30 м, уносятся поверхностным стоком в водоемы. На 90% (в 1998 г. 3197 тыс. т) технологические выбросы представляют выбросы минеральной пыли АБЗ, а также выбросы CO (5%), NO_x (2,5%) и SO₂, C_xH_y, сажи (в сумме 2,5%), которые дает парк автомобилей и строительных-дорожных машин дорожных организаций.

Антропогенная нагрузка дорожной сети проявляется также в распахке кормовых угодий; вырубке лесов; осушении территории; добыче полезных ископаемых; ландшафтных нарушениях. Изменяется транспортная доступность и пространственная конфигурация местных путей сообщения, условия сохранения памятников истории, культуры, археологии (при наличии). Но эти вопросы методически проработаны недостаточно. Поэтому конкретных рецептов учета воздействия дорожной сети на окружающую среду — «до такого уровня можно, а больше нельзя» очень мало [35].

Между тем представление о предельной насыщенности территории транспортными средствами и инфраструктурой можно сделать на основании оценки *транспортной емкости территории*.

Транспортная емкость территории — способность ландшафта удовлетворять транспортные потребности населения (в площадях для размещения стационарных и подвижных объектов транспорта, водоемов, зеленых насаждений, рекреационных ресурсов) без нарушения экологического равновесия. Транспортная емкость выражается в виде максимальной плотности дорожной сети и транспортной инфраструктуры в границах района (региона) по формуле ($\text{м}^2/\text{км}^2$):

$$D_i^T = \frac{Y_a \Pi_n S_a}{S_T} \leq [D_{\max}], \quad (4.13)$$

$$D_{\max} = \frac{Y_a^{\max} \Pi_n^{\max} S_a}{S_T},$$

где Y_a — уровень автомобилизации в регионе, авт/чел; Π_n — плотность населения чел/км²; S_a — приведенная (с учетом объектов инфраструктуры) площадь территории для единицы подвижного состава, м²/авт; S_T — общая площадь территории, км²; $Y_a^{\max}$ — максимальный (по условию обеспечения транспортных потребностей населения) уровень автомобилизации в регионе, авт/чел (0,45—0,5 авт/чел); $\Pi_n^{\max}$ — плотность населения, при условии обеспечения благоприятных условий проживания, чел/км² (0,3—0,5 чел/га).

Как показывают оценки, транспортная емкость крупных мегаполисов в России значительно превышена. Например, для Москвы она превышена почти в 8 раз (по отдельным округам в 6—16 раз). В результате наблюдается практически повсеместно на территории города деградация природных экосистем, особенно вблизи автомагистралей.

Среда населенных мест создает комфортные психофизические условия жизни человека, а также является фабрикой «воспроизводства основных своих элементов» — атмосферного кислорода, воды, почвенно-растительного покрова, т.е. обладает репродуктивной способностью.

Согласно [17], репродуктивную способность территории по кислороду Π_k определяют через биологическое производство органического вещества растительных сообществ (т/год):

$$\Pi_k = \sum_{i=1}^n C_i S_T K_i, \quad (4.14)$$

где C_i — ежегодное производство органического вещества i -м растительным сообществом, т/га (принимается равным: для смешанного

леса 10—15, пашни 5—6, пастбища 4—5, зеленых зон населенных мест 0,8—1); K_1 — коэффициент перехода от органического вещества к кислороду.

Репродуктивная способность территории по водным поверхностным ресурсам рассчитывается в зависимости от модуля стока, местности, рельефа и климата по формуле (м^3)

$$\Pi_b = \sum_{i=1}^n S_i \lambda K_2, \quad (4.15)$$

где S_i — площадь территории, занимаемая участками с известными модулями поверхностного стока, га; λ — модуль поверхностного стока данного участка, л/м²; K_2 — коэффициент неравномерности стока (0,1—1,0).

Репродуктивную способность почвенно-растительного покрова Π_n определяют косвенно через показатели эродированности и распаханности почв, заселенности, а также биохимической активности по формуле (м^3)

$$\Pi_n = 100K_3 \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{B}, \quad (4.16)$$

где K_3 — коэффициент эродированности почв (0,1—1,0); S_i — площадь i -го участка с индивидуальной характеристикой, га; B — время преобразования, год (25—30).

Репродуктивная способность растительного покрова равна (τ):

$$\Pi_p = \sum_{i=1}^n C_i S_i. \quad (4.17)$$

По вычисленным значениям репродуктивной способности территории через индекс репродукции — I_p можно установить предельные масштабы транспортного развития территории по каждому компоненту [формулы (4.14—4.17)].

Индекс репродукции — отношение показателей репродуктивной способности территории к показателям фактического и перспективного потребления основных компонентов биосферы в результате транспортной деятельности. При $I_p=1$ имеет место сбалансированное потребление того или иного компонента природной среды. $I_p < 1$ указывает на неблагоприятное состояние данного района и необходимость проведения мер по восстановлению экологического равновесия в связи с транспортным развитием территории. Необходимо стремиться к тому, чтобы условие $I_p=1$ выполнялось по каждой из рассмотренных компонент.

4.3. Мероприятия по снижению воздействия на среду совокупности машин и дорожной сети

Основные мероприятия связаны с упорядочением транспортных потоков, формированием рациональной структуры парка, а также искусственных экосистем на придорожных территориях. Рассмотрим эти мероприятия подробнее.

1. *Снижение выбросов и шума путем снижения числа ускорений автомобилей при движении в транспортном потоке.* В числе основных мероприятий.

На локальном уровне:

- рациональное обозначение приоритета, использование кругового движения, оптимизация схем организации движения (пересечение);

- воздействие на скоростной режим, рациональное ограничение использования околотротуарных стоянок, оптимизация размещения и оборудования остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта (перегон);

- оптимизация жесткого локального регулирования; выбор алгоритма адаптивного регулирования и оптимизация управляющих параметров; оптимизация смены программ регулирования (пересечение);

- оптимизация участков координированного регулирования; оптимизация программ координации (с учетом состава движения);

- внедрение схем реверсивного движения.

На сетевом уровне:

- строительство транспортных развязок в разных уровнях, подземных пешеходных переходов;

- оптимизация загрузки элементов улично-дорожной сети (выбор разрешенных направлений движения на пересечениях);

- введение ограничений на движение транспортных средств по отдельным полосам, выделение улиц для грузового движения;

- внедрение схем одностороннего движения;

- оптимизация размещения временных автомобильных стоянок и обеспечение информации о них;

- маршрутное ориентирование водителей, в том числе оптимизация пропуска транзитного движения;

- запрет движения грузовых автомобилей, мотоциклов, мопедов в ночное время по определенным маршрутам;

- совершенствование маршрутной сети пассажирского транспорта, схем движения, в том числе в критической по пропускной способности ситуации, а также в рамках автоматизированных систем управления движением (АСУД);

- рациональный выбор районов координации;

- разработка и внедрение вариантов противозаторного управления;
- оптимизация режимов местной коррекции программ координации (с учетом состава движения);
- разработка и реализация переменных схем организации дорожного движения;
- развитие структурно-алгоритмической части АСУД за счет введения элементов обратной связи по экологически значимым показателям;
- переход на методы управления движением второго и третьего поколений.

Методы *первого поколения* основаны на использовании наборов управляющих воздействий, рассчитываемых заранее (вне контура управления) и обрабатываемых системой в зависимости от времени либо от складывающейся ситуации в характерных точках дороги.

Методы *второго поколения* соотносят каждый из наборов управляющих воздействий с определенным временным интервалом в течение суток с жесткими границами (граница может смещаться в ту или иную сторону с учетом складывающихся условий движения). Обеспечивают расчет управляющих воздействий в реальном времени с учетом прогнозируемого изменения характеристик потока. В них изменение светофорных сигналов должно происходить не чаще одного раза в 10 мин.

Методы *третьего поколения* осуществляют полностью гибкое управление в реальном времени с изменяющимися циклами во времени и от перекрестка к перекрестку. В их числе метод оптимизации управления транспортными потоками, ориентированный на двухуровневую схему АСУД, в которой производится расчет продолжительности светофорных сигналов с учетом длины очереди, скорости ее изменения, характеристик потока. Осуществляется декомпозиция задачи таким образом, что на локальном уровне решение устанавливается на основе информации, поступающей от детекторов транспорта, расположенных в окрестности перекрестка, с учетом оценок, вырабатываемых на верхнем уровне. Повышение качества управления дорожным движением может быть достигнуто за счет разработки новых принципов управления, обладающих большей степенью адаптации управляющей системы к случайным изменениям параметров транспортных потоков.

Широкое использование транспортной информации (ТИ) может быть экономически более эффективным, чем капитальные затраты в дорожное строительство. ТИ обеспечит более оперативное регулирование транспортных потоков, снабдит водителя информацией о дорожной ситуации, наличии мест на стоянках, облегчит водителю выбор маршрута. В перспективе ТИ представит бортовому компьютеру автомобиля возможность двухсторонней связи с нави-

гационным сервером в режиме диалога для выбора оптимального маршрута без привлечения интеллекта водителя. В таких системах, как правило, используется модульная конструкция дорожной навигации и управления транспортным движением, а также организации пассажирского обслуживания и информации. Системы обеспечивают автомобилю полную автономность при использовании бортовой компьютерной техники, которая имеет связь с контрольным центром и глобальной системой местопределения.

В перспективе будет создана международная сеть автоматизированных автомагистралей, помогающих водителю избегать заторы и другие препятствия на любом выбранном маршруте движения через различные страны. Это позволит вести постоянное наблюдение за перемещением и скоростью транспортного средства, избегать образование заторов. На машинах будут устанавливаться бортовые компьютеры, микродатчики, приемники спутниковой навигационной системы, речевые синтезаторы, цифровые дорожные карты, радиотелефоны, инфракрасные и СВЧ-маяки и детекторы. Все это позволит автомобилям обмениваться информацией как между собой, так и с дорожными системами управления и мониторинга. Автомобиль будет обмениваться информацией с придорожными маяками, получая от них данные о дорожных заторах и рекомендации для бортовой навигационной системы по выбору нового маршрута. В свою очередь информация о предполагаемом маршруте будет передаваться региональным центрам управления.

2. *Формирование рациональной структуры автомобильного парка.* Один из путей формирования автомобильного парка с определенным уровнем экологической ответственности по неперевышению заданного объема валовых выбросов вредных веществ (объемов топливопотребления) парком в период времени кратный, например, календарному году.

Целевая функция формирования парка имеет вид:

$$W_j(t) = \sum_j \sum_i \sum_k w_{jik}(t) N_{ik}(t) L_{aik}(t) \prod_n R_{jik} < [W_j], \quad (4.18)$$

где $W_j(t)$ — валовый выброс j -го вредного вещества парком в рассматриваемый период времени; $N_{ik}(t)$ — число двигателей k -го типа по виду топлива в i -й группе по назначению АТС, тыс. шт.; $w_{jik}(t)$ — удельный выброс j -го вещества, г/км; $L_{aik}(t)$ — пробег АТС i -й группы с двигателем k -го типа, тыс. км; $\prod R_{jik}$ — произведение коэффициентов влияния n -го факторов на выброс j -го вещества АТС i -й группы с двигателем k -го типа.

Допустимый объем валовых выбросов задается директивными органами по сравнению с выбросами в каком-либо году, принятом за базу.

Решение задачи оптимизации с целевой функцией (4.18) возможно при допущении постоянства провозных возможностей автомобильного парка, т.е.

$$N_{ik}(t)L_{aik}(t) = \text{const.} \quad (4.19)$$

Алгоритм формирования парка по условию неперевышения валовых выбросов включает [24]: прогноз численности, структуры парка по возрасту, виду топлива в рассматриваемый период времени; обоснование исходных данных (годовых пробегов отдельных групп АТС в каждой возрастной группе, пробеговых выбросов вредных веществ и расхода топлива АТС) и оценку валовых выбросов вредных веществ и объема топливопотребления парком, а также блок корректировки численного состава парка машин, пробеговых выбросов и расхода топлива отдельными группами АТС.

Для реализации целевой функции требуется проведение итераций по $w_{jik}(t)$, $N_{ik}(t)$ одновременно или по одному из этих параметров. Наибольший интерес представляет случай, когда в задаче оптимизации $w_{jik}(t) = \text{var}$ при $N_{ik}(t)L_{aik}(t) = \text{const.}$ В этом случае могут быть обоснованы экологические требования (нормы) — выбросы отдельных марок АТС в прогнозируемом автомобильном парке.

При осуществлении оптимизационных расчетов по условию (4.18) численность, структура парка машин региона, а также пробег АТС (годовой и до списания) может определяться по данным статистической отчетности или по приведенным выше формулам. Эти показатели определяют в свою очередь мощность (производственную программу) производственно-технической базы, в которую входят объекты транспортной инфраструктуры (АТП, АРЗ, сеть АЗС, станции технического обслуживания и т.д.). Объемы выбросов вредных веществ этими объектами не превышают 5—10% выбросов транспортными средствами.

Возможен и другой подход к определению структуры и численности автомобильного парка при наличии экологических ограничений. Целевая функция здесь привязана к конкретной площади территории и имеет вид:

$$f_{c \leq [\text{ПДК}_j]} = \frac{S_{c \leq [\text{ПДК}_j]}}{S} \rightarrow 100\%, \quad (4.20)$$

где S — общая площадь территории, км²; $S_{c \leq [\text{ПДК}_j]}$ — площадь территории, над которой концентрация j -го вещества от транспортных источников в приземном слое атмосферы не превышает санитарно-гигиенических норм [ПДК].

Парк считается сформированным с заданным уровнем экологической ответственности, если в приземном слое атмосферы над всей контролируемой территорией концентрации отдельных компонен-

тов выбросов в атмосферном воздухе не превышают санитарно-гигиенические нормы.

3. *Формирование искусственных экосистем на придорожных территориях.* Перспективными являются мероприятия, связанные с формированием искусственных экосистем на придорожных территориях в крупных мегаполисах.

При выборе соответствующих мероприятий следует учитывать способность определенных видов растений:

- противостоять чрезмерным газопылевым выбросам, тяжелым металлам, электромагнитным полям и тепловым аномалиям, солевому стрессу, изменению кислотности, уплотнению и подтоплению почвы, вредителям и болезням растений;

- создавать придорожный ландшафт, положительно действующий на восприятие водителем изменения дорожной обстановки;

- обеспечивать максимальную снего- и пылезащиту, снижение шума, а также концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе;

- аккумулировать тяжелые металлы биомассой;

- иметь фиксированные пределы роста биомассы.

Конструирование искусственной экосистемы предполагает после ее создания специализированный уход с применением биологически активных веществ, биологических удобрений и биопестицидов, поскольку искусственное ее происхождение исключает самодостаточность, которую можно наблюдать в природе. Здесь большое поле деятельности для биологов, генных инженеров, автодорожников, специалистов других профессий.

4.4. Возможности развития аварийных ситуаций, связанных с транспортной деятельностью

Загрязнение окружающей среды транспортом происходит в результате непрерывного, а также аварийного поступления в нее вредных веществ, других негативных явлений, связанных с разрушением транспортных сооружений и дорожно-транспортными происшествиями.

Функционирование объектов промышленности и транспорта часто связано с риском возникновения на них ситуации, когда в результате случайного непреднамеренного события в окружающую среду могут попасть вредные вещества из-за разрушения (разгерметизации) хранилищ опасных веществ (склады ГСМ, химикатов, лакокрасочных материалов, пескосоляных смесей и др.), аварий транспортных средств, перевозящих опасные грузы. Разрушение в результате аварий и катастроф эстакад, путепроводов, мостов,

транспортных средств может привести к гибели людей, животных, растительности.

Аварийное загрязнение окружающей природной среды — это выброс или сброс вредных веществ в атмосферу или водную среду, рассредоточение твердых, жидких или газообразных веществ на почве, образование запахов, шумов, радиации, температурных изменений, превышающих для данной территории и времени установленный уровень, произошедшие в результате случайного процесса. Не относятся к аварийному загрязнению (с позиций экологического страхования) такие воздействия, как:

- «текущее» загрязнение, т.е. постоянные выбросы и сбросы вредных веществ. Отличительная черта этого процесса — повторяющийся или перманентный характер;

- загрязнение, вызванное халатностью в работе, а также преднамеренным преступлением, приведшим к аварии;

- загрязнение, вызванное войной, путчем и другими форс-мажорными обстоятельствами.

Экологическая авария на объекте — это случайное (внезапное, непреднамеренное) событие технологического происхождения, в результате которого в окружающую среду попадают вредные вещества в количествах, превышающих допустимые нормы. Превышение допустимых норм воздействия на элементы окружающей среды, рассматриваемое как экологическая авария, может быть не связано с общей технологической аварией или природными катастрофами. Тогда оно представляет собой вероятностное событие. Например, в результате землетрясения происходит разрушение промышленных объектов, емкостей для хранения ГСМ и загрязнение окружающей среды в объемах, превышающих допустимые нормы.

В первом случае вероятность экологической аварии определяется вероятностью наступления события — вероятностью попадания (единовременно и/или последовательно) массы вредного вещества в окружающую среду $\{P(M)\}$, во втором — $\{P(M)\}$ и вероятностью технологического сбоя (природной катастрофы) — $\{P(A)\}$.

Риск загрязнения окружающей среды сопряжен с функционированием производственных объектов, работающих как в нормальном режиме, так и в аварийном. «Нормальное» функционирование производства, при котором возникает систематический риск, также может быть выражено через математическое ожидание потерь за определенный период работы объекта. Риск R определяется вероятностью P возникновения нежелательного события и размером его последствий X [39]. При таком определении риск характеризуется вероятностью события и его последствиями:

$$R = \{P, X\}.$$

Для показателя риска часто используется скалярная величина — математическое ожидание последствий:

$$R=PX.$$

В соответствии с определением риска его оценка включает оценку вероятности возникновения некоторых классов аварийных ситуаций (P_a) у источника опасности и оценку последствий для человека и окружающей среды (X_n и X_a). При оценке риска обычно проводится разграничение нормального режима работы и аварийных ситуаций:

$$R=R_n+R_a=P_nX_n+P_aX_a. \quad (4.21)$$

Для нормального режима работы характерны небольшие (постоянные) нагрузки на человека и окружающую среду (X_n) с вероятностью, близкой к единице ($P_n \approx 1$). Аварийные ситуации характеризуются гораздо большими (кратковременными) нагрузками (и последствиями) на человека и окружающую среду ($X_a \gg X_n$), но меньшей вероятностью ($P_a \ll 1$; $P_a \ll P_n$):

$$R=R_n+R_a \sim X_n+P_aX_a. \quad (4.22)$$

Для некоторых объектов (например, ТЭЦ) главной компонентой является $R_n \sim X_n$, для других (как, например, для многих объектов химической промышленности) $R_a = P_a X_a$, но для большинства — вклад каждой из компонент равносильен или сопоставим.

Анализ риска техногенного воздействия транспорта на окружающую среду начинается с оценки риска источника опасности, измерения этой опасности по уровню эффектов на человека и окружающую среду (рис. 4.5).

Приемлемый техногенный риск не должен превышать уровней риска от естественных, не подвластных возможностям человека причин. Оценка вероятности аварий (P_a) включает группу методов анализа надежности оборудования технических систем, технологических процессов. На основе анализа статистических рядов рассчитывается конечная вероятность возникновения определенного класса

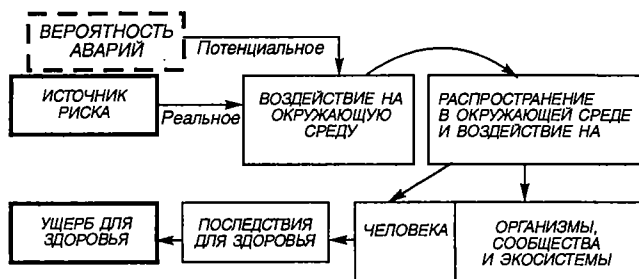


Рис. 4.5. Схема проведения процедуры комплексной оценки риска

нарушений функционирования объекта, приводящего к соответствующей аварийной ситуации. Методы расчета P_a могут существенно различаться для разных технических объектов.

Превышение допустимых норм приводит к риску утраты эксплуатационных качеств инженерного сооружения, создает экологически аварийную ситуацию. События такого рода возникают в результате закрытия движения по дублирующим транспортным путям из-за стихийных бедствий или — недостатков в организации строительства и ремонта.

На отдельных участках дорог возникают (существуют) места концентрации дорожно-транспортных происшествий с очень большим риском их возникновения. В их числе железнодорожные переезды, места пересечения с магистральными нефте- и газопроводами, эстакады, мосты и др. Эти места являются потенциально опасными, так как вероятность возникновения экологических аварий в случае перевозок особо опасных грузов в них будет значительно больше вероятности совершения этих событий на других участках дорог. Имеется риск возникновения экологических аварий, связанный с использованием строительных материалов с повышенным уровнем радиации.

Известны случаи претензий владельцев придорожных земель по поводу превышения допустимого уровня концентрации вредных газов в воздухе или уровня шума на территориях, находящихся вблизи автомагистралей. Нетрудно представить ситуацию, когда через считавшуюся экологически безопасной территорию прокладывается автомагистраль. Экологическая ценность такой территории резко снижается, хотя непосредственные загрязнения не будут превышать установленных санитарных норм. Но риск возникновения экологической аварии существенно возрастает.

Воздействия транспорта на окружающую среду, которые могут вызвать экологическую аварию, приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Экологически опасные воздействия транспорта на окружающую среду

Наименование	Транспортные средства	Дорога	Инфраструктура
Виды воздействия на среду	Токсичные выбросы Потеря опасных грузов Дорожно-транспортные происшествия (ДТП)	Изыятие территории	
		Изменение природных экосистем	Загрязнение водных стоков Производственные и бытовые отходы
Область распространения	Придорожные земли	Зона влияния дороги	Занимаемый участок, включая санитарно-защитную зону

Наименование	Транспортные средства	Дорога	Инфраструктура
Событие страхового характера	Непредвиденное сверхдопустимое загрязнение территории		
	ДТП с загрязнением окружающей среды	Изменение состояния окружающей среды	
		Разрушение в результате стихийных бедствий	
Причины, определяющие вероятность страхового события	Непредвиденное существенное увеличение интенсивности движения		
		Несогласованное строительство	
		Существенное ухудшение условий движения вследствие несвоевременного ремонта или несоответствия технического уровня техники	

Проблематичными с позиций возникновения экологических аварий являются случаи непредвиденного резкого увеличения интенсивности движения и связанным с этим увеличением уровней (сверхнормативных) расчетных нагрузок на участок дороги, а также транспортных загрязнений и шума на придорожных территориях.



Рис. 1. Конструкции экодучков (данные IENE)



Рис. 2—5. Конструкции и варианты размещения шумозащитных экранов вдоль автомагистралей
(данные НИИ Строительной физики)



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6. Состояние растительности вблизи автомагистрали

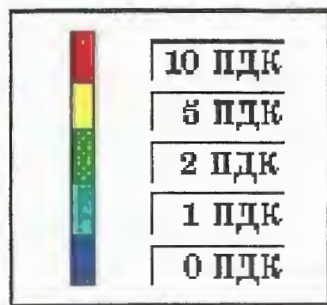
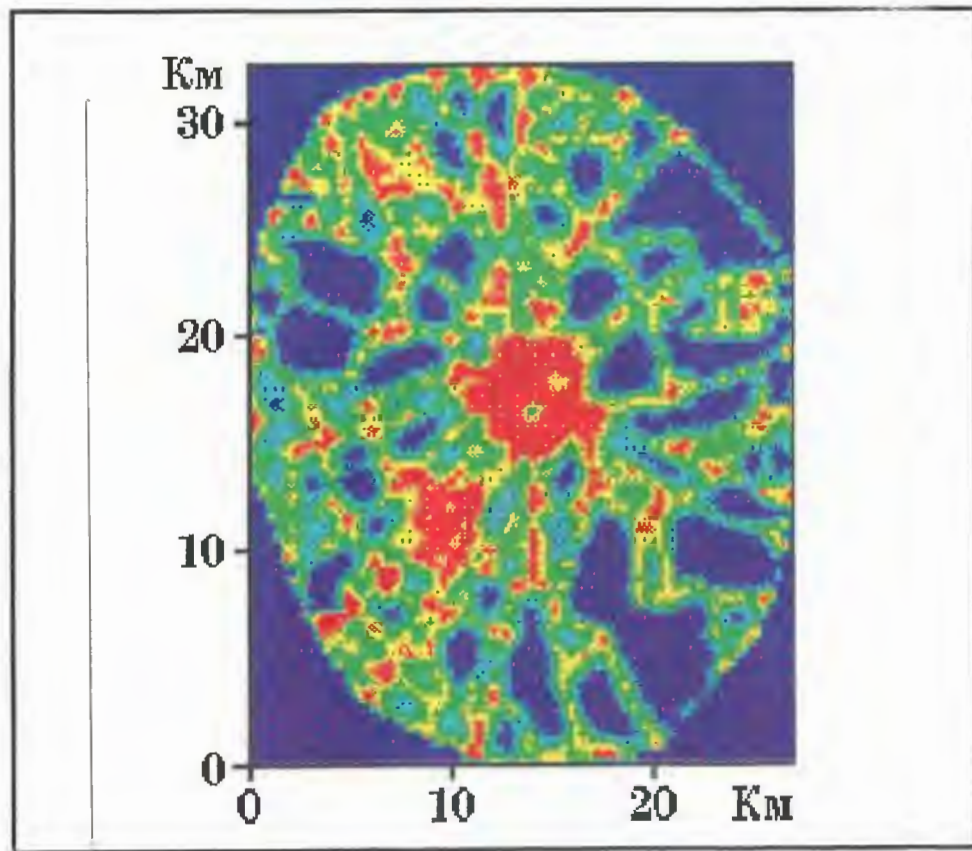
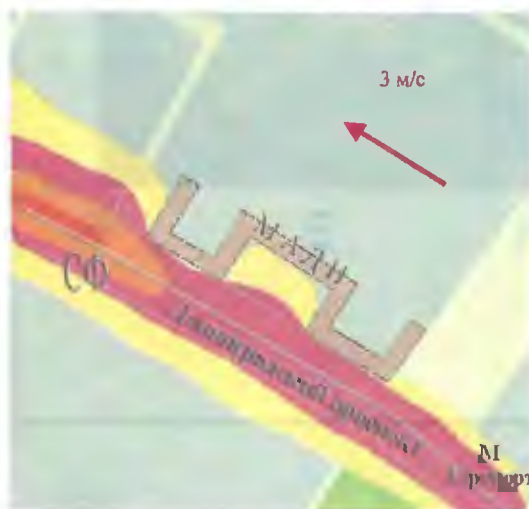
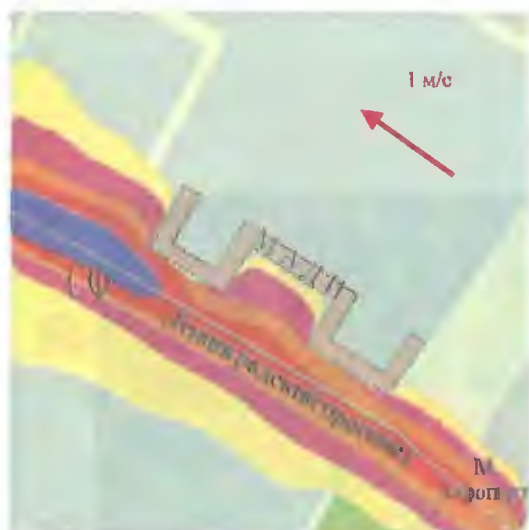


Рис. 7. Концентрации NO_x в приземном слое атмосферы над территорией г. Москвы (полный штиль)





Условные обозначения:

СФ

Место расположения
светофоров

Городские кварталы

Здания

Зеленые насаждения

Шкала концентраций
приведена в долях ПДК_{мр}:



Рис. 8. Концентрации NO_x в приземном слое атмосферы над автомагистралью при разной скорости ветра

ПРОМЫШЛЕННЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ОБЪЕКТЫ В ЭКОСИСТЕМАХ

Интенсивность промышленно-транспортных воздействий на окружающую среду зависит от «экологического совершенства» используемых в конструкциях кинематических схем, физико-химических процессов, материалов, энергоресурсов, а также технологий, применяемых при реализации жизненных циклов объектов.

Для формирования экологических требований к объектам важно представлять реакцию компонент ОС на эти воздействия. Поэтому целесообразно рассмотреть механизмы распространения и трансформации промышленно-транспортных загрязнений на ОС, реакцию человека, животных и растительности, вопросы нормирования промышленно-транспортного воздействия.

5.1. Распространение и трансформация промышленно-транспортных загрязнений в окружающей среде

Процесс распространения промышленно-транспортных загрязнений в атмосфере происходит по известному закону, описывающему для некоторой точки у поверхности Земли изменение градиента концентрации примеси c во времени и в пространстве с учетом турбулентной диффузии воздушных масс:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{\partial \left(D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)}{\partial z}, \quad (5.1)$$

где $D_{x,y,z}$ — коэффициенты турбулентной диффузии в направлении x , y , z .

Степень загрязнения атмосферного воздуха автомобильными выбросами на локальных территориях зависит от возможности переноса загрязняющих веществ, уровня их химической активности, метеорологических условий распространения в данной местности, характеристик подстилающих поверхностей. В ограниченном про-

странстве может происходить множество химических реакций с различными скоростями реакций, временем существования участвующих субстанций, различными зависимостями коэффициентов турбулентной диффузии от свойств подстилающих поверхностей, наличием определенных гидрометеорологических процессов. Отсюда сложности достоверного моделирования процессов распространения автомобильных выбросов в атмосфере.

В зоне контакта загрязняющих веществ с подстилающими поверхностями (водой или почвой) происходят процессы их биохимической миграции и трансформации. Именно здесь вредные выбросы наносят максимальный ущерб биологическим объектам, вызывая морфологические, физиологические и мутагенные нарушения в живых организмах и растениях.

5.1.1. Факторы, влияющие на распространение загрязнений

Уровень приземной концентрации вредных веществ в атмосфере от стационарных и подвижных объектов промышленности и транспорта при одном и том же массовом выбросе может существенно меняться в атмосфере в зависимости от техногенных и природно-климатических факторов.

Техногенные факторы: интенсивность и объем выброса вредных веществ; высота расположения устья источника выбросов от поверхности земли; размер территории, на которой осуществляются загрязнения; уровень техногенного освоения региона.

Природно-климатические факторы: характеристика циркуляционного режима; термическая устойчивость атмосферы; атмосферное давление, влажность воздуха, температурный режим; температурные инверсии, их повторяемость и продолжительность; скорость ветра, повторяемость застоев воздуха и слабых ветров (0—1 м/с); продолжительность туманов, рельеф местности, геологическое строение и гидрогеология района; почвенно-растительные условия (тип почв, водопроницаемость, пористость, гранулометрический состав почв, эродированность почвенного покрова, состояние растительности, состав пород, возраст, бонитет); фоновые значения показателей загрязнения природных компонентов атмосферы, в том числе существующих уровней шума; состояние животного мира, в том числе ихтиофауны.

В природной среде непрерывно меняются температура воздуха, скорость, сила и направление ветра, поэтому распространение энергетических и ингредиентных загрязнений происходит в постоянно новых условиях. Неблагоприятна следующая синоптическая ситуация — антициклон с безградиентным полем изобар в межгорных замкнутых котловинах. Процессы разложения токсических веществ в высоких широтах при малых значениях солнечной радиа-

ции замедляются. Осадки и высокие температуры, наоборот, способствуют интенсивному разложению токсичных веществ.

В Москве, например, неблагоприятные по условиям загрязнения воздуха метеорологические условия, связанные с застоями воздуха и инверсиями, создаются летом, преимущественно в ночные часы при слабых северных и восточных ветрах.

При общей закономерности снижения уровня загрязнения по мере удаления от дороги снижение уровня шума происходит за счет рассеивания звуковой энергии в атмосфере и поглощения ее поверхностным покровом. Рассеивание отработавших газов зависит от направления и скорости ветра (рис. 5.1).

Более высокая температура у поверхности земли в дневное время заставляет воздух подниматься вверх, что приводит к дополнительной турбулентности. Ночью температура у поверхности земли более низкая, поэтому турбулентность уменьшается. Это явление служит одной из причин лучшего распространения звука ночью по сравнению с дневным временем. Рассеивание отработавших газов, наоборот, уменьшается.

Способность земной поверхности поглощать или излучать теплоту влияет на вертикальное распределение температуры в приземном слое атмосферы и приводит к температурной инверсии (отклонение от адиабатности). Повышение температуры воздуха с высотой приводит к тому, что вредные выбросы не могут подниматься выше определенного потолка. В инверсионных условиях ослабляется турбулентный обмен, ухудшаются условия рассеивания вредных выбросов в приземном слое атмосферы. Для приземной инверсии особое значение имеет повторяемость высот верхней границы, для приподнятой инверсии — повторяемость нижней границы.

Сочетание природных факторов, определяющих возможный уровень загрязнения атмосферы, характеризуется метеорологическим и климатическим потенциалом загрязнения атмосферы, а также высотой слоя перемешивания, повторяемостью приземных и приподнятых инверсий, их мощностью, интенсивностью, повторяемостью застоев воздуха, штилевых слоев до различных высот.

Падение концентраций вредных веществ в атмосфере происходит не только вследствие разбавления выбросов воздухом, но и

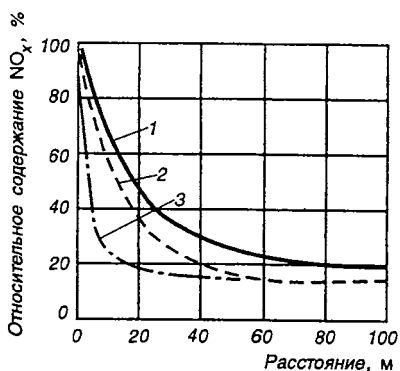


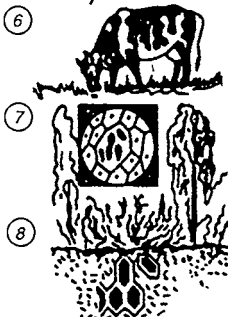
Рис. 5.1. Зависимость изменения концентрации оксидов азота от расстояния от дороги и направления ветра:

1 — ветер перпендикулярен оси дороги, подветренная сторона; 2 — то же, наветренная сторона; 3 — ветер параллелен оси дороги

Основные источники
выбросов ПАУ



Известные факторы
разрушения ПАУ



7

8

Рис. 5.2. Схема загрязнения среды ПАУ и ее самоочищения [6]:

1 — промышленные предприятия; 2 — авиация; 3 — транспорт; 4 — отопление жилищ; 5 — ультрафиолетовое излучение; 6 — озон; 7, 8 — разрушение растениями, почвенными микроорганизмами и из-за наличия метаболизма у высших животных

из-за постепенного самоочищения атмосферы. В процессе самоочищения атмосферы происходит:

1) седиментация, т.е. выпадение выбросов с низкой реакционной способностью (твердых частиц, аэрозолей) под действием силы тяжести;

2) нейтрализация и связывание газообразных выбросов в открытой атмосфере под действием солнечной радиации или компонентами биоты.

Определенный потенциал самовосстановления свойств окружающей среды, в том числе и очищения атмосферы, связан с поглощением водными поверхностями до 50% природных и техногенных

выбросов CO_2 . В водоемах растворяются и другие газообразные загрязнители воздуха. То же происходит на поверхности зеленых насаждений: 1 га городских зеленых насаждений поглощает в течение часа такое же количество CO_2 , которое выдыхают 200 человек.

Химические элементы и соединения, содержащиеся в атмосфере, поглощают часть соединений серы, азота, углерода. Гнилостные бактерии, содержащиеся в почве, разлагают органические остатки, возвращая CO_2 в атмосферу. На рис. 5.2 приведена схема загрязнения среды канцерогенными полициклическими ароматическими углеводородами, содержащимися в выбросах транспортных средств, объектов транспортной инфраструктуры, и ее очищения от данных веществ в компонентах окружающей среды.

5.1.2. Механизмы трансформации загрязнений в окружающей среде

Загрязняющие вещества, источниками выделения которых являются транспортные объекты, распространяются и накапливаются во всех компонентах биосферы (воде, воздухе, почвах, растениях, животных).

Химические элементы и их соединения, обладая определенной подвижностью, устойчивостью, способностью к концентрации и рассеянию во вторичных обстановках кислой, щелочной или нейтральной среды, мигрируют в окружающей среде и воздействуют на биоту (флору и фауну).

Атмосфера. К числу основных загрязнителей атмосферы относятся взвешенные частицы, CO , CO_2 , NO_x , соединения серы, углеводороды, свинец, ртуть, кадмий, хлорированные органические соединения, аммиак, фреоны, радиоактивные вещества.

Изменения в атмосфере связаны с естественными и техногенными факторами нарушения газового равновесия в ней (CO_2 , O_3 и др.); явлением ксеротизации (сухости) климата суши; загрязнением и химическими изменениями, влияющими на энергетические процессы перемещения воздушных масс, на закономерности формирования погоды и климата. Под влиянием транспортных загрязнений изменения в окружающей среде могут происходить в общепланетарном и региональном (локальном) масштабах.

Изменение концентрации озона в стратосфере и тропосфере. В 1992 г. впервые зафиксировано исчезновение озона над Антарктидой на высотах 14—20 км. В Северном полушарии (над Арктикой и значительной частью Восточной Сибири) 2 мес. (март—май, 1996) отмечалось аномально низкое (на 30% меньше обычного) содержание озона. «Дыра» в стратосфере достигала 3000 км в поперечнике.

К загрязнителям, вызывающим разрушение озонового слоя, который поглощает часть падающего на Землю излучения Солнца, относятся озоноразрушающие вещества искусственного происхождения. В их числе хлорфторуглероды (ХФУ), бромистый метил, галоны.

Хлорфторуглероды (синтезированы в 1928 г.) используются в качестве газов-вытеснителей в аэрозольных упаковках, при производстве мягких и твердых пористых веществ для изготовления автомобильных кресел, в автомобильных кондиционерах. Бромистый метил CH_3Br используется в виде добавки к автомобильному топливу. Из него в стратосфере высвобождается бром, который в 30—60 раз более разрушителен для озона, чем хлор. Галоны (галон-1301) используются для пожаротушения.

Опасны не солнечные лучи сами по себе, а лишь коротковолновое (УФ-С) излучение, несущее гибель всему живому, и УФ-Б (рис. 5.3). Нормальным считается положение, когда озоновый слой задерживает и полностью поглощает УФ-С и фильтрует УФ-Б.

Измеряется содержание озона в единицах Добсона — соответствует концентрации озона, равной одной части на миллиард по объему смеси. Наименьшее содержание над экваториальным поясом (230) и возрастает с увеличением широты (500 единиц).

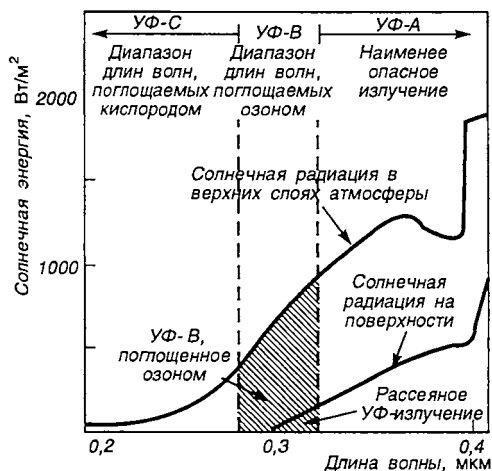
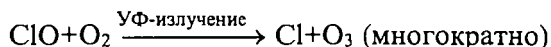
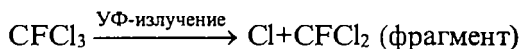


Рис. 5.3. Поглощение УФ-излучения атмосферой [1]

Озон разрушается в результате каталитических реакций, причем озоноразрушающие вещества в тропосфере являются инертными, нетоксичными, но в стратосфере на них воздействуют обладающие высокой энергией фотоны и высвобождают атомы хлора и брома, которые остаются неизменными 74—111 лет. За это время один атом хлора способен превратить в кислород 100 000 молекул озона. Механизм разрушения озона в стратосфере следующий:



Озон в стратосфере необходим, но в тропосфере он вреден для растений, животных, людей, материалов.

У тропосферного озона три источника:

- генерация у Земли (в процессах фотохимического смога);
- перенос озона из стратосферы посредством макротурбулентного перемешивания (вихрей разных размеров, перемешивающих воздух) или путем упорядочения движения в разрывах тропопаузы, где мощные нисходящие потоки могут переносить к Земле озон со скоростью нескольких см/с;
- диффузия. Развивается медленно. Достигнув высоты 2—3 км, стратосферный озон попадает под влияние атмосферных процессов и перемешивается с приземным воздухом.

Изменение концентрации «парниковых» газов (CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 , ХФУ) в атмосфере и возможные климатические изменения. Механизм возникновения «парникового эффекта» заключается в следующем. Солнечная радиация, достигающая поверхности Земли, частично поглощается ею, а частично отражается. Некоторая часть этой энергии поглощается парами воды, парниковыми газами и не проходит в космическое пространство. Тем самым нарушается глобальный энергетический баланс планеты. Относительная способ-

ность абсорбировать теплоту у парниковых газов следующая — $\text{CO}_2:\text{CH}_4:\text{N}_2\text{O}:\text{ХФУ}=1:(10-80):(200-400):10\,000$.

Процесс потепления вызовет подъем уровня мирового океана и будет происходить неравномерно: у полюсов интенсивнее, чем на экваторе, что приведет к изменению силы и направления ветров, дождей, океанических течений. Однако есть и неопределенности.

1. Нет доказательств того, что увеличение среднегодовой температуры за последние 100 лет (рис. 5.4) связано с ростом концентраций парниковых газов, а не вызвано какими-то другими климатическими факторами природного происхождения (рис. 5.5).



Рис. 5.4. Динамика глобального потепления [1]

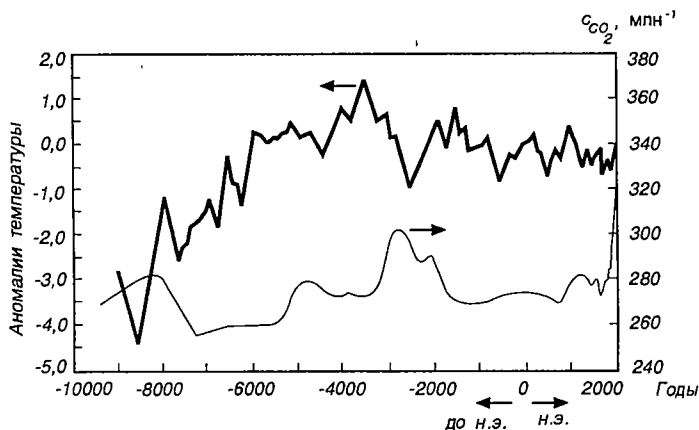


Рис. 5.5. Аномалии температуры атмосферы воздуха Северного полушария (от климатической нормы конца XX в.) и концентрации CO_2 в атмосфере за последние 11 000 лет (в кн.: Россия в окружающем мире: Аналитический ежегодник. — М.: МНЭПУ, 1998. С. 54).

2. Невозможно предсказать последствия глобального потепления, так как нет однозначных ответов на следующие вопросы.

Может ли охлаждение Земли компенсироваться сохранением теплоты парниковыми газами? Возникнут ли саморегулирующиеся процессы с отрицательной обратной связью в процессах круговорота веществ, которые будут стабилизировать парниковый эффект? (Такой механизм уже действует — поглощение водной поверхностью до 50% CO_2 природного и антропогенного происхождения.)

Физико-химические трансформации на локальных территориях. Такие вредные вещества, как CO , C_xH_y , NO_x , SO_x , распространяются в атмосфере под воздействием диффузии, других процессов и вступают в процессы физико-химического взаимодействия между собой и с компонентами атмосферы.

Примеры физического реагирования: конденсация паров кислот во влажном воздухе с образованием аэрозоля, уменьшение размеров капель жидкости в результате испарения в сухом теплом воздухе. Жидкие и твердые частицы могут объединяться, адсорбировать или растворять газообразные вещества.

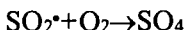
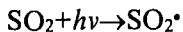
Некоторые процессы химических преобразований начинаются непосредственно с момента поступления выбросов в атмосферу, другие — при появлении для этого благоприятных условий — необходимых реагентов, солнечного излучения, других факторов.

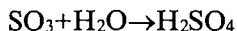
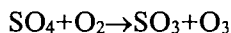
Моноксид углерода в атмосфере быстро диффундирует и обычно не создает высокой концентрации. Его интенсивно поглощают почвенные микроорганизмы; в атмосфере он может окисляться до CO_2 при наличии примесей — окислителей (O , O_3), оксидных соединений и свободных радикалов.

Углеводороды в атмосфере подвергаются различным превращениям (окислению, полимеризации), взаимодействуя с другими загрязнителями прежде всего под действием солнечной радиации. В результате этих реакций образуются пероксиды, свободные радикалы, соединения с NO_x и SO_x .

Соединения серы поступают в атмосферу в виде SO_2 , SO_3 , H_2S , CS_2 . В свободной атмосфере SO_2 через некоторое время окисляется до SO_3 или вступает во взаимодействие с другими соединениями, в частности углеводородами, в свободной атмосфере при фотохимических и каталитических реакциях. Конечным продуктом является аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде.

Иницирует фотохимическое окисление солнечное излучение. При этом молекула SO_2 переходит в возбужденное состояние и реагирует с атмосферным кислородом, другими соединениями. Основные этапы этих реакций описываются следующими уравнениями:



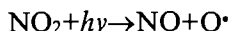


Кислотные осадки попадают на поверхность в виде кислотных дождей, снега, тумана, росы и образуются не только из оксидов серы, но оксидов азота.

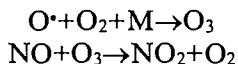
Соединения азота, поступающие в атмосферу от объектов транспорта, представлены в основном NO и NO_2 . Под воздействием солнечного света NO интенсивно окисляется до NO_2 . Кинетика дальнейших превращений NO_2 определяется его способностью поглощать ультрафиолетовые лучи и диссоциировать на NO и атомарный кислород в процессах фотохимического смога.

Фотохимический смог — это комплексная смесь, состоящая из оксидантов, в основном озона, смешанного с другими окислителями, включая слезоточивый газ — пероксиацетилнитрат (ПАН), и образующаяся при воздействии солнечного света из двух компонентов автомобильных выбросов — NO и углеводородов.

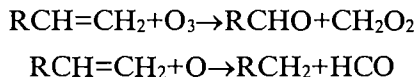
В летние дни (с температурой воздуха более 300 К, при отсутствии ветра и интенсивной солнечной радиации) озон начинает генерироваться в атмосфере. Первоначальная реакция при образовании смога — взаимодействие солнечного света с NO_2 :



В результате взаимодействия атомарного кислорода с O_2 и третьим неактивным веществом, например, N_2 (условно М) образуется озон, который связывается с NO , замыкая цикл без образования оксиданта:

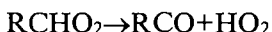


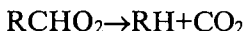
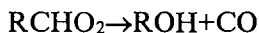
При наличии в воздухе олефиновых углеводородов озон и атомарный кислород взаимодействуют с ними, образуя радикалы:



Образовавшиеся радикалы ($\text{RCH}_2^{\bullet}$), другие вещества, способные к окислению, реагируют с компонентами атмосферы по цепному механизму, образуя, в свою очередь, водород- и кислородсодержащие, а также нестабильные, с высокой реакционной способностью, пероксиацетиловые ($\text{RC}(\text{O})\text{O}_2^{\bullet}$) радикалы, являющиеся предшественниками ПАН.

Конечные реакции образования оксидантов развиваются одновременно несколькими путями:





Формирование смога и образование оксиданта обычно останавливается при прекращении солнечной радиации. Так, в Москве при обычных условиях концентрация тропосферного озона достаточно низкая. Генерация озона из оксидов азота и углеводородных соединений вследствие переноса воздушных масс и повышение его концентрации происходят на расстоянии 300—500 км от Москвы (в районе Н. Новгорода).

Высокий потенциал самовосстановления атмосферы, трансформация основных компонентов транспортных выбросов являются причинами того, что время существования исходных загрязняющих веществ в атмосфере составляет от нескольких часов до нескольких суток. В табл. 5.1 приведены усредненные оценки масштабов рассеивания и трансформации некоторых компонентов транспортных выбросов.

Т а б л и ц а 5.1. Масштабы переноса и рассеивания веществ в атмосфере

Вредные вещества	Расстояние переноса, км	Время рассеивания или трансформации, ч
NO	10	1
NO ₂ , SO ₂	100	48
ПАН, HNO ₃	1000	72
H ₂ SO ₄	1000	96
CH ₄	Масштаб Земли	До 90 000

Указанные процессы являются как быстротечными по времени (до нескольких суток), происходящими преимущественно на локальных площадях территорий, так и вялотекущими. Вещества могут переноситься ветром на значительные расстояния (трансграничный перенос). Поэтому опасные для здоровья людей концентрации этих веществ в открытом пространстве наблюдаются только вблизи крупных автомагистралей при большой интенсивности движения и при определенном сочетании природно-климатических и технологических факторов.

Тепловые аномалии. Выделяемая в окружающую среду транспортом теплота оказывает на атмосферу заметное воздействие, изменяя ее тепловой режим.

Количество выделяемой теплоты в ОС примерно равно потребляемой энергии, так как почти вся эта энергия передается окружающей среде или преобразуется в потенциальную энергию продукции или обрабатываемых объектов, что имеет место при металлообработке, в нефтеперерабатывающей, шинной промышленности, строительстве, совершении транспортной работы. Более точную оценку

выделяемой в ОС теплоты транспортным комплексом можно дать по уравнению теплового баланса вида:

$$Q_{OC} = \sum_i Q_{i, жц} = Q_d + Q_{тр} + Q_{дор}, \quad (5.2)$$

где $Q_{i, жц}$ — количество теплоты, отдаваемой окружающей среде в процессах реализации жизненных циклов транспортных объектов и сооружений; Q_d — теплота, отдаваемая ОС двигателями, технологическими печами и горелочными устройствами в результате тепловых потерь; $Q_{тр}$ — теплота, отдаваемая ОС в процессах механического трения при движении транспортных средств (торможение, износ агрегатов), обработки заготовок деталей, других процессах ЖЦ объектов транспортной техники; $Q_{дор}$ — теплота, отдаваемая ОС объектами дорожного хозяйства, в том числе дорожным покрытием с низкой отражательной способностью для солнечных лучей видимого спектра и высокой теплоемкостью для длинноволновых лучей. Поэтому дорожное покрытие может быть интенсивным источником тепловыделения (температура покрытия на солнце на 25° может превышать температуру воздуха на уровне 2 м и интенсивность тепловыделения может в 3—4 раза превышать фоновые излучения, достигая $700\text{—}840 \text{ Вт/м}^2$).

Объекты транспорта (в местах концентрации транспортных коммуникаций) могут оказывать влияние на формирование теплового режима и атмосферных процессов в городах и отдельных регионах. Дальнейшее распространение тепловой энергии в окружающей среде зависит от уровня солнечного излучения, излучения подстилающих поверхностей, конвективного тепло- и массопереноса воздушных масс.

Рассмотрим вкратце закономерности распространения тепловых выбросов объектов транспорта до установления равновесного теплового состояния с приемником теплоты — атмосферой.

Механизм распространения выбросов теплоты в атмосфере предложен Л. А. Рихтером для случая, когда скорость ветра не изменяется по высоте. Образовавшееся тепловое облако за счет турбулентных пульсаций в вертикальной и горизонтальной плоскостях принимает форму эллипса. Большая часть тепловой энергии «облака» рассеивается до высоты $900\text{—}1000 \text{ м}$, а при больших скоростях ветра (до $2\text{—}3 \text{ м/с}$) подъем теплового облака за счет разности температур распространяется до высоты не более 200 м . Если не учитывать влияние конденсации водяного пара на температуру, то изменение температуры «теплового облака» в 1° происходит через каждые 100 м подъема. Из-за наличия влажности (теплота конденсации снижает работу расширения) измеренные значения температуры на каждые 100 м подъема (до высоты 2500 м) ниже и колеблются в диапазоне

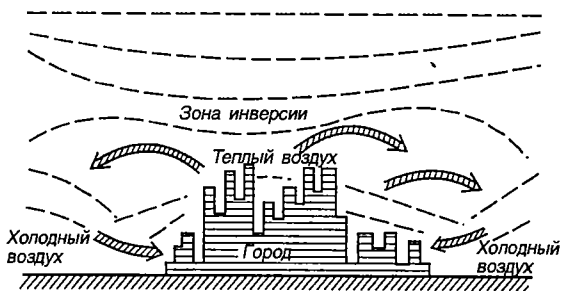


Рис. 5.6. Схема циркуляции атмосферного воздуха вблизи «острова теплоты»

0,34—0,94°. Большое отклонение наблюдается при температуре 303 К, меньшее — при 243 К.

Воздействия тепловых выбросов транспорта и промышленности в крупных городах вызывает локальное повышение температуры воздуха над отдельными транспортными магистралями, дорожной сетью города или регионом в целом. Это области атмосферного воздуха с повышенной — «острова теплоты» температурой над транспортными магистралями неустойчивы во времени вследствие воздействия ветра и других атмосферных факторов.

Устойчивые во времени «острова теплоты» в виде пространственного купола воздуха с более высокой температурой — на 1—4° выше равновесной естественной температуры устанавливаются над городами площадью 1000 км² и более. Причиной их возникновения являются тепловые выбросы энергетики, промышленности, транспорта, которые способствуют образованию термической циркуляции, которая четко проявляется при безветрии (рис. 5.6).

Этот эффект наблюдается на высотах до нескольких сотен метров. У «острова теплоты» диаметром 10 км при скорости ветра около 1 м/с вертикальная скорость возникающих воздушных потоков в слое толщиной до 500 м достигает 10 см/с.

Выбросы транспорта и предприятий в атмосферный воздух изменяют газовый состав атмосферы. Острова теплоты влияют на образование туманов, количество осадков, влажность воздуха, давление, интенсивность солнечной радиации.

«Тепловой колпак» над городом из-за снижения давления в воздухе «притягивает» верхние слои охлажденной атмосферы вместе с облаками. Поэтому нижняя граница облаков над городом оказывается на 100 м ниже, чем в окрестностях, а восходящие токи образуют местную кучевую облачность. В результате приток прямой солнечной радиации к поверхности уменьшается на 10—25%; количество атмосферных осадков над городом увеличивается зимой на 50%, летом на 15% и прослеживается на 40—50 км с его подветренной сто-

роны. Из-за наличия «острова» в городе по сравнению с пригородом: а) воздух суше в среднем на 5—10%; б) повторяемость туманов в 1,5—2 раза больше.

Тепловые аномальные поля, возникающие из-за тепловыделения промышленности и транспорта, оказывают воздействие не только на образование купола теплоты над городом, но и непосредственно на природные среды, в частности приводят к изменению микроклимата, иссушению воздуха и почв, что неблагоприятно влияет на растительность и ведет к ее стрессовому состоянию. Так, по результатам космического мониторинга территории г. Москвы в инфракрасной области спектра (март, 1997 г.) установлено, что участки с положительными контрастными тепловыми аномалиями занимают более четверти территории города. Высоко- и среднеконтрастные тепловые аномалии (более 3° по сравнению с фоновыми — на окраинах города и в пригородах с сохранившимся природным ландшафтом) сосредоточены в центральной части и вдоль автомагистралей.

Угнетение растительности в зоне влияния тепловых аномалий достоверно регистрируется разными методами, однако механизмы воздействия тепловых аномалий вместе с другими факторами, связанными с деятельностью промышленности и транспорта на растительность, до конца не выяснены.

Гидросфера и литосфера. Изменения в *гидросфере* связаны с потреблением пресных поверхностных и подземных вод и их загрязнением, что приводит к нарушению кругооборота, баланса воды, негативно влияют на живое существо биосферы.

При сбросе неочищенных сточных вод в водоемы наблюдаются явления *сукцессии* (заполнение отложениями дна водоемов и сливание с сухопутной экосистемой), *эвтрофикации* (загрязнение вод биогенами, повышение биологической продуктивности водных экосистем, обогащение их питательными веществами, поступающими в результате человеческой деятельности).

Литосфера загрязняется и тем, что в ее недрах размещаются разнообразные транспортные коммуникации и сооружения, в том числе путепроводы, стоянки автотранспорта; организуется хранение нефти, моторных топлив, газа, различных материалов, захоронение вредных веществ и отходов производства. Работы по преобразованию рельефа земной коры и ландшафта (строительство дорог, различных сооружений, объектов) сопровождается деформацией земной коры, изменением геологических процессов образования полезных ископаемых, других минералов; изменением фильтрационных режимов почв; изменением режимов поверхностных и грунтовых вод; оседанием и просадками грунтов, вызванными их растворением, увлажнением, изменением консистенции. Загрязнение поверхности земли транспортными и дорожными выбросами накоп-

ливается постепенно и сохраняется долгое время и после ликвидации дороги.

Тяжелые металлы (из воздуха) интенсивно адсорбируют древесная растительность, снеговые осадки. С осадками и растительностью тяжелые металлы добавляются в почву. Их количество сопоставимо с годовым поступлением этих веществ в почву при непосредственном (гравитационном) осаждении пыли. Поэтому опавшая листва, деревья, снег должны утилизироваться, а не сжигаться на месте или сбрасываться в водоемы.

Наибольшее влияние на гидросферу и литосферу оказывают кислотные осадки. Механизм их воздействия на почву и растительность показан на рис. 5.7.

Кроме химических элементов и соединений на состояние биосферы влияет и геохимическая деятельность микроорганизмов (бактерий, грибов, актиномицетов, вирусов). Биогенное и минеральное вещество, проходя через кишечные тракты организмов, образуют новые продукты (кислоты, газы и т.д.).

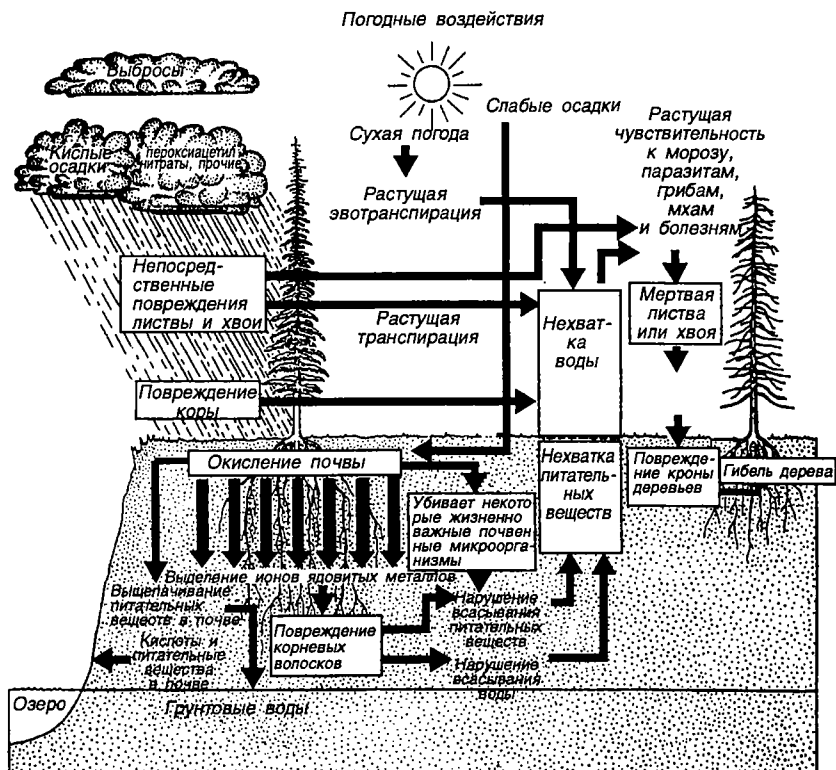


Рис. 5.7. Вредное воздействие кислотных осадков на почву и растительность [19]

Микроорганизмы в биосфере фиксируют отдельные химические элементы (N_2), окисляют аммиак и сероводород, восстанавливают сульфаты и нитраты, осаждают из растворов соединения железа, марганца и других элементов, разлагают органические и минеральные вещества на компоненты, способствуют синтезу сложных химических и биологических веществ.

5.2. Последствия воздействия загрязнителей на человека, животных и растительность

Вредные последствия для живых организмов связаны с загрязнением природной среды токсичными веществами: газами (H_2S , HF , O_3 , NO_2 , Cl_2), аэрозолями (HCl , H_2SO_4), соединениями тяжелых металлов, неорганическими солями, нефтепродуктами, появляющимися при работе объектов транспорта. Наиболее токсичны из химических веществ ртуть, мышьяк, свинец, цинк, медь, кадмий, соединения серы, ПАУ. Загрязняя воздух и воду, они вызывают отравления, расстройство нервной системы, нарушения обмена веществ, онкологические заболевания и т.д., воздействуют на человека через продукты питания.

5.2.1. Реакция человеческого организма на промышленно-транспортные загрязнения

Оценка последствий промышленно-транспортных воздействий на человека включает исследование механизмов распространения загрязнителей (или других техногенных факторов воздействия: шум, электромагнитные волны и др.) в окружающей среде, описанных выше, а также миграции в экосистемах (по пищевым цепям), реакции живых организмов и сообществ на эти воздействия.

Миграция по пищевым цепям определяется физико-химическими характеристиками вещества и биологическими потребностями организмов. Миграции по пищевым цепям приводят к таким явлениям, как *биоаккумуляция* и *биоконцентрация*. Термин «биоаккумуляция» используется, когда вещество концентрируется в определенном органе или типе ткани. Иод, например, аккумулируется в щитовидной железе.

Биоконцентрация возникает при транспорте или миграции загрязнителей по пищевой цепи. Например, водоросль кладофора за три дня извлекает из воды столько ДДТ, что его концентрация увеличивается при этом в 3000 раз. Асцидии при поглощении ДДТ из воды концентрируют его в 1 000 000 раз. Исследования экосистемы озера Мичиган выявили следующие закономерности биоаккумуляции ДДТ в пищевых цепях:

— 0,014 мг/кг (в расчете на сырую массу) в донном иле озера;

— 0,41 мг/кг в ракообразных, питающихся донными отложениями;
— 3—6 мг/кг в различных рыбах (бельдюговые, язь, елец);
— свыше 2400 мг/кг в жировой ткани птиц (чаек), питающихся рыбой.

В основе процесса лежит простое правило: в каждом последующем звене пищевой цепи содержание загрязнителя увеличивается примерно в 10 раз.

Содержание в организмах загрязнителей может приводить к определенным сдвигам в состоянии здоровья (болезнь или смерть), что рассматривается как эффект воздействия данного фактора или последствия X действия данного фактора:

$$X = F(c_{\text{ср}}, c_{\text{ор}}),$$

где $c_{\text{ср}}$ — концентрация химического вещества в элементе среды; $c_{\text{ор}}$ — концентрация загрязнителя в живом организме.

В настоящее время главным критическим объектом рассмотрения действия техногенных факторов является человек. Но и элементы экосистем (растения, животные), равно как и экосистема в целом, также реагируют на техногенные воздействия и должны наравне с человеком быть объектом защиты.

Зависимости «доза—эффект». Ответ организма на воздействие зависит от количества загрязняющего вещества или его дозы в организме, величина которой зависит от путей поступления в организм — при вдыхании (*ингаляционно*), с водой и пищей (*перорально*), или абсорбируются через кожу, или воздействие происходит посредством внешнего облучения. Ингаляционный и пероральный пути поступления определяют биохимические способы воздействия загрязнителей на организм. В целом человеческий организм производит детоксикацию поступающих с пищей загрязнителей более эффективно, чем тех, которые поступают посредством дыхания.

Пороговые эффекты воздействия загрязнителя или другого техногенного фактора характеризуются тем, что некоторые количества загрязнителя ниже определенного уровня концентраций (порога) не вызывают отрицательных последствий для здоровья населения. Различают *практический* и *абсолютный* пороги, когда будет достигнута критическая концентрация или доза. Практический порог характеризует границу статистически регистрируемого эффекта, когда последний превышает колебания соответствующего фоновому уровня объектов.

Нарушения в состоянии здоровья могут наблюдаться при приближении концентрации загрязнителя в среде (и соответственно — дозы воздействия) к пороговому значению или его превышении. Функции реакции организма на воздействие выше порогового уровня, как правило, имеют S-образную форму и характеризуются дозой LD_{50} или концентрацией LC_{50} . Под *дозой* может пониматься концен-

трация СО в атмосфере, реакция организма или эффект — снижение содержания кислорода в крови. Термин LD_{50} относится к дозе, которая летальна для 50% используемых экспериментальных животных (LC_{50} относится к летальным концентрациям вместо летальных доз). Соотношение соответствующих значений летальных доз определяет относительную опасность того или иного загрязнителя.

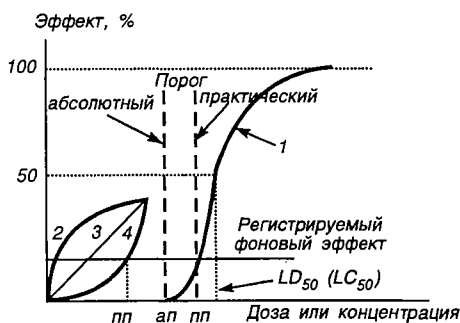


Рис. 5.8. Возможные формы зависимостей «доза—эффект»

Кривые «доза—эффект» (рис. 5.8) характеризуют зависимость между дозой загрязнителя и ответной реакцией (эффектом) организма [39]. Зависимости «доза—эффект» для человека и животных получают на основе данных эпидемиологических исследований.

На рис. 5.8 изображены четыре основные формы возможных кривых при действии специфических химических загрязнителей и других техногенных факторов и реакции (отклика) организма.

Кривая 1 показывает, что если имеет место подобная S-образная зависимость эффекта от дозы, то никаких изменений в метаболизме человеческого организма не наблюдается. Кривые 2, 3 и 4 относятся к беспороговым: предполагается, что существуют эффекты при любой концентрации загрязнителя или любом сколь угодно малом нехимическом воздействии. Подобные кривые отражают класс стохастических эффектов для здоровья. Наиболее широко используется линейная беспороговая форма зависимости «доза—эффект» 3, поскольку часто суждение о форме зависимости «доза—эффект» в области малых значений получается посредством линейной экстраполяции из области больших доз.

Кривая 4 — нелинейная зависимость «доза—эффект» с выпуклостью вниз — также характерна для реакции организма на действие многих факторов. Ее иногда называют «подлинейной» зависимостью «доза—эффект». Хотя кривая 4 не имеет четко определенного порога, точка на оси, при которой эффект может быть зарегистрирован, определяет практическое значение порога.

Кривая 2 — нелинейная зависимость «доза—эффект» с выпуклостью вверх — представляет «надлинейную» зависимость, которая наблюдается, когда малые дозы вызывают непропорционально большие эффекты. Результаты наблюдений за облученным в результате чернобыльской аварии населением указывают на наличие такой зависимости для радиационных эффектов в области малых доз.

Хотя по-прежнему линейная зависимость остается официально признанной и рекомендуется к использованию в оценках риска при нормировании.

Итак, эффекты воздействия можно подразделить на *пороговые* и *беспороговые*. К беспороговым относятся канцерогенные и генетические эффекты, вызванные действием на геном человека мутагенов, или радиационного облучения в малых дозах. Действие мутагенов носит вероятностный характер, и многие мутагены одновременно являются канцерогенами. Любое количество этих загрязнителей в воздухе предопределяет отличный от нуля риск смерти от новообразований или наследственных изменений.

К пороговым эффектам относятся эффекты больших доз радиоактивного облучения (лучевая болезнь разной степени тяжести, катаракта, определенные формы легочных заболеваний и др.), часть эффектов физических факторов воздействия и большинство токсических эффектов, вызываемых токсикантами (неканцерогенами).

Неканцерогены вызывают широкий спектр нарушений в состоянии здоровья человека, которые можно рассматривать как разные формы проявлений токсических эффектов, регистрируемых на молекулярном, клеточном, тканевом, организменном и популяционном уровнях. Последние эффекты наблюдаются в виде повышенных частот болезней, например, органов дыхания.

Постоянное воздействие загрязненного воздуха влияет на здоровье населения, что отражается в росте показателей заболеваемости и смертности. Этот класс загрязнителей называют токсикантами общего действия, которые подпадают под класс нестохастических эффектов.

Общей характерной особенностью неканцерогенов является наличие порога действия вещества. Пороговые значения концентраций, как правило, выше ПДК, и чем меньше известно о действии данного загрязнителя, тем большие величины коэффициента запаса используются при установлении ПДК загрязнителя. Для большинства новообразований типичен медленный рост и развитие, поэтому они обнаруживаются 10—40 лет спустя после воздействия, обусловившего возникновение рака.

Продолжительность времени между воздействием загрязнителя и диагностированием неблагоприятного эффекта называется *латентным периодом*. Соотнесение возникновения рака к определенному фактору воздействия оставляет большие неопределенности.

Индивидуальные отклики на действие загрязнителей не идентичны. Кривые (пороги) «доза—эффект» отличаются для разных индивидуумов, хотя в общем случае имеют форму S-образной кривой. Распределение индивидуальных реакций зависит от возраста, пола, общего состояния организма.

Разрешаемый (допустимый) выброс загрязнителей в ОС учитывает технические и экономические возможности контроля и обычно устанавливается ниже уровня порога для 95% населения, т.е. гарантируется защищенность не менее 95% населения.

Для беспороговых загрязнителей такой подход невозможен. В этом случае пределы концентраций и выбросов устанавливаются с использованием методов, основанных на сравнительном анализе рисков, т.е. исходя из приемлемого (желательного) риска. Существует постоянная необходимость уточнения количественных оценок риска, хотя до конца не ясен механизм действия канцерогенов и мутагенов на человека.

Большинству загрязнителей требуется время для вступления в реакцию, поэтому важна не только концентрация, но и время воздействия (экспозиция). Пример — эффект действия СО (рис. 5.9).

Поэтому при установлении максимально допустимых концентраций веществ в среде временной фактор учитывается посредством установления предельных значений, зависящих от времени воздействия (максимально-разовые, среднесуточные, среднегодовые ПДК).

По характеру действия транспортных загрязнений на окружающую среду можно выделить два подтипа, определяющие особенности подходов к их изучению:

- со специфическим действием (небольшое количество веществ);

- с хроническим неспецифическим (провоцирующим) влиянием, которое определяется специфическими симптомами и признаками.

Моноксид углерода (угарный газ) — бесцветный газ, без вкуса и запаха, воздействует на нервную систему, вызывает обмороки, так как вступает в реакцию с гемоглобином крови, замещая O_2 . Когда вдох прекращается, СО, связанный гемоглобином, выделяется и кровь здорового человека очищается на 50% каждые 3—4 ч. Воздействие СО на центральную нервную систему проявляется в изменении цветовой чувствительности глаз — возрастает вероятность аварий.

В воздухе над автомагистралями и прилегающими территориями из оксидов азота встречаются NO и NO₂. В воздухе NO (бесцвет-

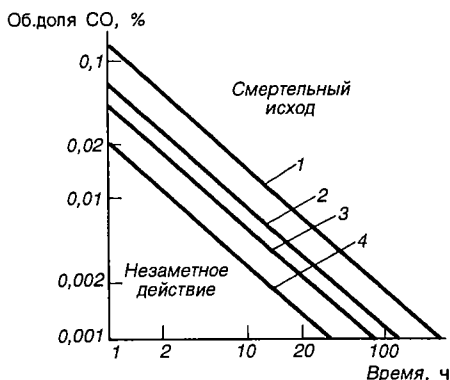


Рис. 5.9. Действие СО на организм человека: 1 — смертельная опасность; 2 — головная боль, тошнота; 3 — начало токсичного действия; 4 — заметное действие

ный газ) окисляется до NO_2 (стабильный газ желтовато-бурого цвета, сильно ухудшающий видимость и в большинстве случаев придающий характерный коричневый оттенок воздуху). Токсичность NO_2 в 7 раз выше токсичности NO . На организм человека NO_2 действует как острый раздражитель (концентрация до 15 мг/м^3) и может вызвать отек легких при концентрации $200\text{—}300 \text{ мг/м}^3$. При тех концентрациях, которые имеются в атмосфере, NO_2 только потенциально можно связать с хроническими заболеваниями. При концентрациях менее $0,01 \text{ млн}^{-1}$ у детей в возрасте $2\text{—}3$ лет наблюдался некоторый рост заболеваний бронхитом.

Токсичность газообразных низкомолекулярных углеводов проявляется в наркотическом действии на организм человека, вызывая состояние эйфории, что увеличивает вероятность ДТП. Полициклические ароматические углеводороды, содержащиеся в выбросах двигателей, являются канцерогенными (вызывают рак легких), из которых наибольшей активностью обладает бенз(а)пирен $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$.

Сажа, содержащаяся в отработавших газах, обладает большей токсичностью, чем обычная пыль. На поверхности частиц сажи адсорбируются канцерогенные вещества. Видимыми автомобильные выбросы становятся при концентрации сажи 130 мг/м^3 . Размеры частиц составляют $0,19\text{—}0,54 \text{ мкм}$ и могут достигать альвеол легких или откладываться в носовых пазухах, трахеях или бронхах.

Оксиды серы при малом содержании ($0,001\%$) вызывают раздражение дыхательных путей, при содержании $0,01\%$ происходит отравление людей за несколько минут. Смесь SO_2 и CO при длительном воздействии вызывает нарушение генетической функции организма.

Контакт с соединениями свинца приводит к головной боли, утомлению, нарушению сна, снижению ферментативной активности белков. Свинец, накапливаясь в организме, может вызвать тяжелые расстройства нервной и кроветворной систем.

Превышение ПДК тропосферного озона в $3\text{—}4$ раза при длительном воздействии на человека вызывает необратимые изменения органов дыхания (эффект «старения»). По экспертным оценкам каждый потерянный процент стратосферного озона в масштабах планеты вызовет 150 тыс. дополнительных случаев слепоты из-за катаракты, на $2,6\%$ увеличится количество раковых заболеваний кожи. УФ-Б излучение подавляет иммунную систему организма, вредно для планктона, мальков, креветок, крабов, водорослей и других мелких организмов, обитающих на поверхности океана.

Отдельные компоненты имеют разную токсичность: $\text{CO}:\text{C}_x\text{H}_y:\text{H}_2\text{S}:\text{NO}_x:\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}:\text{Pb}:\text{C}_{20}\text{H}_{12} = 1:1,26(3,16):16,5:41,1:41,1:41,5:22400:1\ 260\ 000$.

Действие некоторых токсичных веществ на человека приведено в табл. 5.2.

Т а б л и ц а 5.2. Содержание примесей в воздухе (мг/м³) и эффекты воздействия на человека

Эффект воздействия	CO	SO ₂	NO _x
Несколько часов без заметного воздействия	115	6	15
Признаки легкого отравления или раздражение слизистых оболочек через 2—3 ч	115—575	130	20
Отравление через 30 мин	2300—3500	210—400	100
Опасно для жизни при кратковременном воздействии	5700	1600	150

Приводит к ухудшению здоровья и *параметрическое (энергетическое) загрязнение* окружающей среды.

Различают следующие виды воздействия шума на организм человека: раздражающее; воздействие на нервную систему, снижающее самообладание (жалобы к источникам шума); воздействие на стратегию решения поставленных задач (водитель); воздействие на внимание в процессе длительной работы. Шумы вызывают сердечно-сосудистые, желудочно-кишечные, нервные заболевания, нарушение сна, потерю слуха (табл. 5.3).

Т а б л и ц а 5.3. Заболеваемость населения (%) от уровня транспортного шума

Заболевания	Среднее значение	В пределах ПДУ	Выше ПДУ
Система кровообращения	16,4	63,5	88,3
Нервная система	59,9	49,8	70,7
Органы кровообращения	89,8	85,4	93,2

Инфразвук воспринимается человеком за счет слуховой и тактильной чувствительности. При частотах 2—5 Гц и уровне звукового давления 100—125 дБ наблюдается осязаемое движение барабанных перепонки из-за изменения звукового давления в среднем ухе, затрудненное глотание, головная боль. Повышение уровня до 125—137 дБ может вызвать вибрацию грудной клетки, чувство «падения». Инфразвук с частотой 15—20 Гц вызывает чувство страха.

Вибрации раздражающе действуют на человека. Совпадая с собственной (резонансной) частотой органов тела, вибрация может причинять ущерб здоровью. Передача вибраций через фундаменты и грунт может способствовать их неравномерной осадке, разрушению инженерных сооружений.

Организм человека, находящегося в электромагнитном поле (ЭМП), поглощает его энергию. В тканях возникают высокочастотные токи с образованием теплового и других негативных эффектов,

приводящих к раковым заболеваниям, гормональным нарушениям. Интенсивность поглощения энергии ЭМП определяется мощностью поля, продолжительностью облучения и длиной волны. Чем выше мощность поля, короче длина волны и продолжительнее время облучения, тем сильнее воздействие.

Биологический эффект действия ЭМП имеет две разновидности. Первая характеризуется положительным воздействием малоинтенсивного поля ($E < 1$ кВ/м). Возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах, функций щитовидной железы. Вторая определяется индукцией поверхностных зарядов. При нахождении человека в поле с напряженностью $E > 1$ кВ/м возникают искровые разряды в теле, покалывание рук.

Качественно установить оценку вредного влияния автомобильных выбросов на здоровье населения можно с использованием данных, приведенных в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Состояние здоровья населения в зависимости от уровня загрязнения воздуха и почвы, кратность превышения ПДК

Ожидаемое состояние здоровья	Воздух	Почва
Нет отрицательных изменений	1	1
Изменения в состоянии здоровья по некоторым показателям	2—3	до 4
Выраженные функциональные сдвиги	4—7	4—10
Рост специфической и неспецифической заболеваемости	8—10	20—120
Острые и хронические отравления	100	120—200
Смертельные отравления	500	200—1000

Начиная с 2—4 ПДК в состоянии здоровья людей наблюдаются изменения, которые выявляются с помощью функциональных методов исследований органов и систем, но рост заболеваемости населения не наблюдается. При ПДК > 5 рост заболеваемости населения отражается в данных официальной статистики. Аналогичные шкалы установлены для оценки заболеваемости от уровня загрязнения водоемов (табл. 5.5).

Таблица 5.5. Оценка влияния загрязнения водных объектов на здоровье населения

Степень загрязнения	Степень превышения ПДК	Индекс загрязнения
Допустимая	1	0
Умеренная	2—3	1
Высокая	4—10	2
Чрезвычайно высокая	100	3

При высокой степени загрязнения (индекс 2) ухудшается здоровье населения, что предполагает запрет использования водоема.

Снижение уровня здоровья населения, обусловленного вредным воздействием транспорта, можно определить по формуле

$$R_n = mc/c_0, \quad (5.3)$$

где R_n — снижение значений показателей здоровья в долях от уровня порогового загрязнения; c_0, c — соответственно теоретический и фактический (прогнозный) уровень загрязнения; m — коэффициент пропорциональности.

При совместном действии нескольких факторов на организм человека может происходить усиление (синергизм) или ослабление (антагонизм) эффекта, равного сумме эффектов воздействия каждого фактора в отдельности (аддитивность).

Наибольшие проблемы и опасности вызывают синергические эффекты, хотя механизм этого явления остается малоизученным. Поэтому при оценке эффекта совместного действия разных факторов допускается гипотеза аддитивности с введением коэффициента безопасности на возможности синергических эффектов.

Комплексная оценка эффектов воздействия различных факторов опасности должна включать:

- оценку индивидуального риска для каждого фактора опасности в сопоставимых показателях;
- построение маргинальных (для каждого фактора опасности) полей риска вокруг источников опасности;
- построение интегральных полей риска для данного региона;
- оценку интегральных последствий реального и потенциального воздействия исследуемых факторов.

5.2.2. Реакция экосистем на промышленно-транспортные загрязнения

Различные компоненты транспортных загрязнений оказывают различное воздействие на растения, что приведено в табл. 5.6.

Таблица 5.6. Характер воздействия ингридиентных загрязнителей на растения

Вредное вещество	Характер поражения
Сернистый газ	Лист бурый с желтыми или белыми (некротическими) пятнами
Хлороводород	Лист оливковый (слабая концентрация токсиканта) или темно-коричневый (сильная концентрация), побуревший с краев
Озон	Торможение роста, уменьшение размеров, массы, на листьях белые пятна
Оксиды азота	Кончики хвои красновато-бурые, на листьях темно-бурые и черные пятна
Медь, цинк, кобальт	Растения карликовые, листья мелкие. Кончики листьев желтеют, деформируются, отмирают

Усваиваемый растениями *озон* окисляет клетки. Вредно это воздействие в период роста растений. Повышение концентрации озона приводит к преждевременному износу резины, разрушает лакокрасочные покрытия.

Сернистые газы в атмосфере препятствуют фотосинтезу растений (концентрация SO_2 более $0,9 \text{ мг/м}^3$); через 5—10 дней хвоя сохнет, ели начинают рыжеть и преждевременно опадает.

Реагируя с атмосферной влагой, *оксиды серы, азота* образуют кислоты, вызывающие коррозию металлов, уничтожение растительности, а также понижение продуктивности, гибель рыб, водных растений и микроорганизмов в водоемах, разрыв цепочки азотного цикла.

При напряженности электрических полей $E=20\text{—}50 \text{ кВ/м}$ через 1—2 ч в растениях наблюдается обесцвечивание листьев с последующим отмиранием. При $E>100 \text{ кВ/м}$ происходит воспламенение растений.

Процесс трансформации экосистемы в целом под действием промышленно-транспортных загрязнителей схематично можно представить как последовательность определенных стадий [40].

1. *Выпадения чувствительных видов* (лишайников) при сохранении основных параметров экосистемы (фоновая нагрузка превышена в 1,5—2 раза).

2. *Структурных перестроек экосистемы* (превышение фоновой нагрузки в 2,7—4,0 раза). Регистрируется ухудшение санитарного состояния деревьев, но плотность древостоя и его запас не изменяются. Происходят изменения в травяно-кустарничковом ярусе (выпадают чувствительные виды лесного разнотравья). Замедлены процессы, осуществляемые почвенными микроорганизмами. Незначительно увеличивается толщина подстилки. Существенно уменьшается разнообразие и обилие эпифитных лишайников. Параметры населения и мелких млекопитающих остаются на уровне фона.

3. *Стадия частичного разрушения экосистемы* (превышение фона в 6,0—7,0 раз). Древесный ярус угнетен и изрежен, значительно уменьшены его запас и полнота, нарушено возобновление. В травяном ярусе почти отсутствуют лесные виды, которые заменены луговыми и видами-эксплерентами. Повышена кислотность верхних почвенных горизонтов, из них выносятся обменный кальций и магний. Активизируются эрозионные процессы. Биологическая активность почвы резко снижена. Крупные почвенные сапрофаги отсутствуют. Уменьшена скорость деструкции листового опада, который накапливается в виде толстого слоя подстилки. Лишайниковый покров сохраняется только у самого основания стволов, представлен одним-тремя устойчивыми видами. Происходит элиминация крупных лесных видов птиц, меньше общая плотность орнитонаселения. Наблюдается вселение синантропных видов и видов, приуроченных

к открытым местообитаниям (характерно для населения птиц, мелких млекопитающих и муравьев).

4. *Стадия полного разрушения (коллапса) экосистемы* (превышение фоновой нагрузки в 10 раз и более). Древесный ярус полностью разрушен, сохраняются лишь отдельные, сильно угнетенные экземпляры деревьев. Травяной ярус представлен одним-двумя видами злаков, в увлажненных местах встречается хвощ. В понижениях — одновидовой моховой покров и захоронения неразложившегося опада. Лишайниковый покров отсутствует. Полностью смыты подстилка и верхние горизонты почвы. Биологическая активность почвы снижена до нуля. Почвенные животные отсутствуют. Группировка птиц и мелких млекопитающих не поддерживают свою структуру и существуют за счет притока мигрантов с соседних участков территории.

Общее направление техногенных смен противоположно ходу естественных сукцессий и может быть охарактеризовано как движение вспять. Состояние экосистем в зоне техногенной пустыни (экологической катастрофы) аналогично стадии пионерного сообщества при демулационных сукцессиях.

Техногенная сукцессия сопровождается снижением биоразнообразия, падением продуктивности и упрощением структуры, замедлением и разрывом круговорота биогенов. Тормозятся как продукционные, так и деструкционные процессы, нарушается баланс между ними. Ряд структурных элементов полностью элиминируется (лесное разнотравье, почвенные сапрофаги, эпифитные лишайники). Две последние стадии патологичны и переход к ним означает для экосистемы полную потерю устойчивости как способности возвращаться в исходное состояние.

На рис. 5.10 приведены концептуальные модели возможной техногенной трансформации экосистем — линейной и нелинейной.

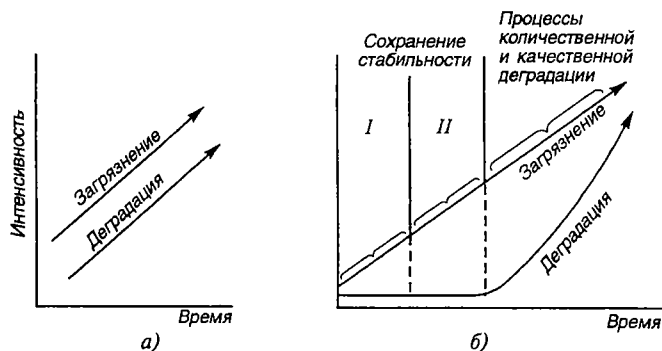


Рис. 5.10. Концептуальные модели трансформации экосистем под действием загрязнений [41]:

а — простая модель; б — реалистичная модель: I — неизменность экосистемных процессов; II — повышение интенсивности адаптационных процессов

Как отмечается в [41], реакция экосистем на загрязнение в зависимости «доза—эффект» существенно нелинейна — имеется два уровня средних значений (соответствующих фоновому и импактному состояниям) с резким переходом между ними, т.е. экосистема реагирует на увеличение загрязнения не постепенным изменением параметров, а ступенчато.

Существование порога в реакции экосистемы (наличие области нагрузок, при которых не обнаруживается существенных изменений) — явление феномена устойчивости экосистемы из-за наличия механизмов саморегуляции. Соответственно подпороговые значения нагрузок оценивают запас устойчивости экосистемы, в пределах которого воздействия на нее допустимы. Участок градиента нагрузки, на котором происходит скачок между уровнями, крайне узок: его доля в общей длине составляет 5—15% (колеблется в диапазоне для разных параметров от 0,3—1 до 30—40%).

Таким образом, экосистемы в процессе трансформации находятся в трех состояниях — двух относительно стабильных (гомеостатических) и одном неустойчивом (критическом). Первое из стабильных состояний соответствует фоновому уровню с высокой жизнеспособностью экосистемы, второе — импактному с почти нулевой жизнеспособностью. Переход из одного состояния в другое осуществляется через область неустойчивости, который в теории катастроф соответствует топологической структуре типа «складка». Этот переход можно считать необратимым, так как импактная территория служит как бы токсической ловушкой для мигрантов и диспор.

Мера (норма) экосистемы — область состояний, ограничиваемая критическими точками. Под критической точкой понимается состояние системы, в которой происходит ее качественная перестройка с позиций потребности человека [41]. Формализация понятия нормальности необходима для конструирования искусственных экосистем, например, на придорожных территориях.

5.2.3. Понятие локальной экологической катастрофы

Типичные для импактных территорий стадии трансформации локальных экосистем нельзя распространить на урбанизированную территорию большой площади с высокой плотностью дорожной сети, так как на ней располагается, как правило, большое количество экосистем.

Оценка экологической безопасности урбанизированной территории основана на соизмерении ее природного и производственно-транспортного потенциалов и может быть представлена в виде [47]:

$$K_3 = U/T_3 \leq 1,0, \quad (5.4)$$

где K_3 — кратность превышения экологической техноёмкости территории (при $1 < K_3 < 2$ — обстановка считается критической, при $K_3 \geq 10$ — крайне опасной); U — *природоёмкость территории*, т.е. совокупность объемов хозяйственного изъятия и поражения местных возобновимых ресурсов, включая загрязнение среды и ухудшение здоровья людей; T_3 — *экологическая техноёмкость территории*, количественно равная максимальной (предельно допустимой) техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность экосистем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств.

Экологическая техноёмкость T_3 зависит от:

— объемов воздушного бассейна, совокупности водоемов и водотоков, земельных площадей и запасов почв, массы представителей флоры и фауны;

— мощности потоков биогеохимического круговорота (скорость массо- и газообмена, пополнения объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивность биоты).

Если трем компонентам среды обитания — воздуху, воде, земле (включая биоту) приписать индексы 1, 2 и 3, то T_3 (усл.т/год) можно оценить по формуле

$$T_3 = \sum_{i=1}^3 E_i X_i A_i \quad (i=1, 2, 3), \quad (5.5)$$

где E_i — экологическая ёмкость i -й среды, т/год; X_i — коэффициент вариации для естественных колебаний содержания субстанции в среде; A_i — коэффициент относительной опасности примесей, усл.т/т.

Экологическая ёмкость компонентов среды рассчитывается по формуле

$$E = VcF_{об}, \quad (5.6)$$

где V — экстенсивный параметр, определяемый размером территории (площадь или объем), км² или км³; c — содержание главных экологически значимых субстанций в данной среде, т/км² или т/км³ (например, СО₂ в воздухе или плотность распределения биомассы на поверхности земли); $F_{об}$ — скорость кратного обновления объема или массы среды, год⁻¹.

Промышленно-транспортное загрязнение атмосферного воздуха, растительности, почвы, поверхностных и подземных вод может создавать критические нагрузки (уровни) в локальных экосистемах, т.е. приводить к изменениям структуры и функций экосистем в долгосрочном плане.

В табл. 5.7 приведены критические уровни компонентов промышленно-транспортных выбросов, влияющих на наземную растительность, а также критические нагрузки по соединениям серы, азота и ионов водорода, влияющих на лесные и водные экосистемы (для европейской части России) [47], когда на урбанизированных территориях возникают *локальные экологические катастрофы* (чрезвычайные экологические ситуации и зоны экологического бедствия).

Таблица 5.7. Уровни загрязнения атмосферного воздуха, лесных и водных экосистем веществами в зонах локальных экологических катастроф

Вещества	Норма	А*	Б*	Время действия
<i>Критические уровни для наземной растительности, мг/м³</i>				
Диоксид серы	<0,02	0,1—0,2	>0,2	Среднегодовое
Диоксид азота	<0,03	0,2—0,3	>0,3	Среднегодовое
Фтороводород	<0,002—0,003	0,01—0,02	>0,02	Долговременное воздействие
Озон	<0,15	1—1,5	>1,5	В течение 1 ч
	<0,06	0,4—0,6	>0,6	В течение 3 ч
	<0,05	0,3—0,5	>0,5	Между 9—16 ч каждого дня в период 01.04-30.09
<i>Критические нагрузки для лесных и водных экосистем, г/м³ в год</i>				
Соединения серы	<0,32	3—5	>5	Северные и центральные районы
Соединения азота	<0,28	2—4	>4	
Ионы водорода	<20	200—300	>300	

* Зоны чрезвычайных экологических ситуаций (А) и экологического бедствия (Б).

Критерием для выделения *зон экологического бедствия* служит 10—15-кратное превышение критических уровней и нагрузок для различных ингредиентов.

В зоне *чрезвычайной экологической ситуации* состояние экосистем характеризуется изменением соотношения биомассы основных трофических звеньев при снижении (или увеличении) удельной массы одного из звеньев в пределах 20—50%. Происходит нарушение взаимосвязей внутри экосистемы, но процессы деградации являются обратимыми.

В зоне экологического бедствия состояние экосистем характеризуется снижением (или увеличением) удельной массы одного из трофических звеньев более чем на 50%. Нарушения взаимосвязей внутри экосистемы носят необратимый характер, экосистема теряет средо- и ресурсовоспроизводящие функции [48].

При оценке экологического состояния территории необходимо учитывать как площадь проявления негативных изменений (так как

при равной степени деградации участка территории возможность восстановления обратно пропорциональна его площади), так и пространственную неоднородность распределения участков разной степени деградации на исследуемой территории (табл. 5.8) [48].

Т а б л и ц а 5.8. Значения параметров наземных экосистем в условиях локальной экологической катастрофы

Показатели	Норма	А*	Б*
<i>Пространственные и другие признаки</i>			
Расчлененность территории оврагами, км/км ²	Нет	0,7—2,5	2,5
Повреждение древостоев техногенными выбросами, % от общей площади	<5	30—50	>50
Площадь зеленых насаждений (на 1 чел в крупных городах), % от нормы	>90	10—30	<10
Уменьшение биоразнообразия, % от исходного	<5	25—50	>50
<i>Динамические признаки</i>			
Скорость деградации наземных экосистем, % площади в год	<0,5	2—4	>4
Скорость увеличения площади сбитых пастбищ, % площади в год	<2	5—8	>8
Скорость уменьшения годовой продукции растительности, % в год	<1	3,5—7,5	>7,5
Скорость уменьшения содержания органического вещества почвы, % в год	<0,5	3—7	>7
Скорость сработки (минерализации) торфа, мм/год	<1	10—40	>40
Скорость увеличения площади засоленных почв, % в год	<1	2—5	>5
Скорость увеличения площади эродированных почв, % площади в год	<0,5	2—5	>5
Скорость увеличения площади земель с неблагоприятными агромелиоративными условиями, % от площади ценных сельхозугодий в год	<0,1	0,3—1	>1

* Зоны чрезвычайных экологических ситуаций (А) и экологического бедствия (Б).

Скорость деградации экосистем рассчитывается на статическом материале за 5—10 лет наблюдений. Особенно важно оценивать направленность и скорость деградации экосистем при напряженной экологической ситуации для прогноза ухудшения экологической обстановки и проведения мероприятий по ее стабилизации и улучшению.

При экологическом нормировании осуществляется выбор показателей деградации экосистем на основании анализа: а) круговорота веществ; б) оценки вклада в функционирование экосистем более высокого ранга; в) оценки эффективности выполнения экосистемой социально-экономических и эстетических функций. Оценочным показателем может быть и опережающий индикатор изменения основных параметров экосистемы.

5.3. Нормирование промышленно-транспортного воздействия

Обобщая приведенные выше сведения, следует отметить, что нормирование промышленно-транспортного воздействия на окружающую природную среду может быть представлено в виде:

- санитарно-гигиенических и экологических нормативов, регламентирующих содержание отдельных токсикантов в воздухе, воде, почве, биоте;
- экологических требований к объектам и технологиям транспортного комплекса.

5.3.1. Санитарно-гигиенические и экологические нормативы

На основании эпидемиологических исследований установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) в атмосферном воздухе 348 вредных веществ и ядов, а также ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) на здоровье 537 веществ, загрязняющих атмосферный воздух, для которых не определены ПДК.

Под ПДК понимается «максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии не вызывает в организме каких-либо патологических отклонений, а также неблагоприятных наследственных изменений у потомства»*. Устанавливается по самым чувствительным организмам и наиболее чувствительным процессам. ПДК разрабатываются для защиты организма человека и не имеют целью защиту природных комплексов, но на практике их широко используют для обоснования природоохранных мероприятий.

На основе ПДК веществ в *атмосферном воздухе* устанавливают величины предельно допустимых выбросов (ПДВ), обеспечивающие на практике соблюдение гигиенических нормативов. Там, где соблюдение ПДВ требует существенных капиталовложений, применяют нормативы временно согласованных выбросов (ВСВ) отдельных стационарных источников загрязнения.

Согласно методики гигиенического нормирования содержания веществ в *воде и почве* оцениваются три показателя вредного воздействия:

- токсикологический — влияние на организм человека;
- органолептический — влияние на органолептические свойства воды;
- общесанитарный — влияние на процессы естественного самоочищения водоемов от патогенной микрофлоры.

* БСЭ, 1975. Т. 20.

Нормируется содержание более 1000 химических веществ в воде. Нормируемыми показателями при оценке качества вод также являются:

- количество взвешенных частиц (0,25—0,75 мг/дм³);
- наличие плавающих примесей (пленок);
- окраска (не должна обнаруживаться в столбике 20 см);
- наличие запахов и привкусов;
- температура (превышение до 3—5°);
- водородный показатель (рН=6,5—8,5);
- минерализация;
- растворенный O₂ (не менее 4 мг/дм³);
- возбудители заболеваний, кишечные палочки, колифаги;
- биологическое потребление O₂ (3—6 мг O₂/дм³);
- химическое потребление O₂ (не более 15—30 мг O₂/дм³).

Установлены нормы ПДК для более 30 веществ, загрязняющих почву.

Токсикологическим показателем является максимально недействующая доза суммарного поступления токсиканта в организм человека как при непосредственном контакте, так и различными путями миграции.

Органолептическим показателем является минимально действующая концентрация в почве, вызывающая достоверные отрицательные изменения в пищевой ценности растительной продукции.

Общесанитарный показатель — максимальное количество токсиканта в почве, которое на 7-е сутки не вызывает отрицательных изменений численности микроорганизмов более чем на 50% или отрицательного изменения более одного биохимического показателя биологической активности почвы более чем на 25%.

Регламентируется также загрязнение продуктов питания человека. Установлены нормативы для физических факторов и биологического загрязнения патогенной микрофлорой. Нормативы воздействия электромагнитных полей разной частоты установлены в виде предельно допустимых уровней электромагнитных колебаний.

В процессе становления — экологическое нормирование, т.е. разработка регламентов воздействия промышленности и транспорта на окружающую среду, соблюдение которых не вызывает в течение неопределенно долгого времени отклонений в нормальном функционировании экосистем, расположенных вблизи источника выбросов.

Особенности экологического нормирования заключаются в следующем [41]:

1. Ориентиром, задающим критерии оценки экосистем, является антропоцентризм при обеспечении необходимого вклада в биосферные процессы, обеспечивающие социально-экономические и эстетические потребности общества с привязкой по месту (физико-географическим условиям) и времени.

2. Нормируется интегральная экологическая нагрузка, выраженная в относительных единицах (кратность превышения фонового уровня), а не концентрации отдельных веществ.

3. Величина нагрузки должна соответствовать критической точке зависимости «доза—эффект» на уровне экосистем.

В первом приближении в качестве интегральной нагрузки может выступать безопасное расстояние от участка дороги или транспортного предприятия. Можно использовать специальные индексы в виде отнесенных к экстремальным величинам концентраций примесей в депонирующих средах, либо реакции биотестов.

Предельная нагрузка представляет собой особую критическую точку на кривой доза—эффект, связывающую входные (нагрузки) и выходные (отклики экосистемы) параметры.

5.3.2. Нормирование экологических параметров транспортных средств

Нормируются экологические требования к объектам транспорта и транспортным технологиям в виде предельно допустимых норм выброса токсичных веществ с отработавшими газами транспортных средств, уровней шума, вибраций, электромагнитных полей, удельных объемов потребления отдельных видов природных ресурсов, уровня комфорта и др.

Эти нормы напрямую не связаны с ПДК отдельных примесей в атмосферном воздухе, воде, почве на конкретных площадях территории и устанавливаются как компромисс в удовлетворении разнонаправленных требований (общественная потребность, техническая возможность реализации, стоимость). Подходы к решению этой комплексной проблемы (взаимоувязки экологических нормативов объектов транспорта с санитарно-гигиеническими нормами) можно найти, например, в работе [24].

Нормирование токсичности отработавших газов транспортных средств осуществляется с целью получения сопоставимых оценок экологического совершенства различных конструкций и управления уровнем воздействия на ОС. Комплекс стандартов включает два вида испытаний: проверку АТС в эксплуатации экспресс-методами и сертификационные испытания автомобилей или двигателей на стендах.

Эксплуатационные испытания осуществляются без снятия двигателя с автомобиля портативной аппаратурой и предназначены для оценки технического состояния АТС путем измерения концентрации в отработавших газах двигателей с искровым зажиганием CO и C_xH_y , также дымности дизелей.

Сертификационные испытания (приемочные, инспекционные) АТС производятся при сертификационных испытаниях на заводах

или в специальных центрах. Токсичность оценивается при выполнении заданной совокупности режимов, называемых циклами.

Для оценки экологических показателей АТС полной массой до 3,5 т применяются 5 типов испытаний на специальных стендах, в результате которых проверяется соответствие нормам:

1 — уровня содержания в выхлопных газах CO , C_xH_y , NO_x , твердых частиц после запуска холодного двигателя при имитации движения автомобиля;

2 — концентрации CO в режиме холостого хода;

3 — выбросов картерных газов;

4 — выбросов в результате испарения топлива из системы питания;

5 — долговечности устройств, предназначенных для предотвращения загрязнения воздуха.

В табл. 5.9 приведены значения норм выбросов новых автомобилей типа М1, N1 в европейских странах по первому типу испытаний (в ездовых циклах).

Таблица 5.9. Динамика значений норм выбросов легковыми АТС массой до 1250 кг, г/км

Ступень	Год введения	Частицы	NO_x	C_xH_y	CO
EURO 1*	1993	-0,14	0,97/0,97**		2,72/2,72
EURO 2	1996	-0,08	0,5/0,67**		2,2/1,0
EURO 3	2000	-0,05	0,14/0,5	0,17/0,06	1,5/0,6
EURO 4	2005	-0,025	0,07/0,25	0,08/0,05	0,7/0,47

Числитель/знаменатель — бензиновые/дизели.

* Россия с 1999 г.

** $\text{C}_x\text{H}_y + \text{NO}_x$.

Экологические нормативы (токсичность отработавших газов) остальных типов транспортных средств, а также тракторов, судов устанавливаются по результатам испытаний только двигателей на тормозных стендах. Динамика значений норм выбросов дизельных грузовых и пассажирских АТС типов М2, М3, N2, N3 в европейских странах приведена в табл. 5.10.

Таблица 5.10. Динамика норм выбросов дизельных грузовых АТС и автобусов, г/(кВт·ч)

Ступень	Год введения	Частицы	NO_x	C_xH_y	CO
EURO 1**	1993	0,36	8,0	1,1	4,5
EURO 2	1996	0,15	7,0	1,1	4,0
EURO 3	2000	0,1	5,0	0,66*	2,1
EURO 4	2005	0,02	3,5	0,46*	1,5
EURO 5***	2008	0,02	2,0	0,25*	1,5

* Неметановые углеводороды.

** Россия с 1999 г.

*** Проект.

Нормы токсичности бензиновых АТС указанных выше типов в России приведены в табл. 5.11.

Не нормируются удельные выбросы или концентрации вредных веществ в технологических процессах производства, восстановления работоспособности, утилизации объектов транспорта. Для них используют санитарно-гигиенические нормативы.

Т а б л и ц а 5.11. Нормы токсичности бензиновых грузовых АТС и автобусов в России

Год введения и литраж двигателя	Предельные выбросы, г/(кВт·ч)			
	СО		С _x H _y +NO _x	
	Подготовленный двигатель	Серийный двигатель	Подготовленный двигатель	Серийный двигатель
1994, >5,9 л	95	110	20	23
1994, <5,9 л	50	60	22	27
1996, >5,9 л	80	95	17	20
1996, <5,9 л	30	40	21	27

Нормируются уровни *внешнего* (табл. 5.12) и *внутреннего шума* (табл. 5.13) транспортных средств.

Т а б л и ц а 5.12. Динамика предельных уровней внешнего шума АТС в европейских странах, дБА

Тип АТС	1968 г.	1982 г.	1989 г.	1996 г.
<i>Легковые</i>	82	80	77	74
<i>Автобусы массой:</i>				
до 2 т	84	81	78	76
2—3,5 т	84	81	79	77
>3,5 т ($N_e < 150$ кВт)	89	82	80	78
>3,5 т ($N_e > 150$ кВт)	91	85	83	80
<i>Грузовые массой:</i>				
до 2 т	84	81	78	76
2—3,5 т	84	81	79	77
>3,5 т ($N_e < 75$ кВт)	87	86	81	77
>3,5 т ($N_e < 75—150$ кВт)	89	86	83	78
>3,5 т ($N_e > 150$ кВт)	91	88	84	80

Звуковое поле автомобиля образуется суперпозицией звуковых полей системы впуска-выпуска, поверхностей двигателя, рамы, шин и др.

Регламентируются спектральные уровни звука в октавных полосах в диапазоне от 31 до 8000 Гц.

Таблица 5.13. Предельные уровни внутреннего шума автомобилей, дБА

Тип АТС	до 1991 г.	с 1991 г.
Легковые и грузопассажирские автомобили	80	78
Грузовые автомобили и автопоезда для междугородних перевозок	82	80
Остальные грузовые автомобили и автопоезда	84	82
Автобусы с передним расположением двигателя:		
рабочее место водителя	82	80
пассажирское помещение	81	80
Прочие автобусы:		
рабочее место водителя	78	78
пассажирский салон (кроме городских автобусов)	82	80
пассажирский салон городских автобусов	84	82

Колебания и вибрации (плавность хода) оцениваются с позиций ощущений человека и связаны с наличием частотной и амплитудной чувствительности различных органов человека, особенно при экстремальных виброускорениях во время движения автомобиля. Безопасным для здоровья считается виброускорение $0,1 \text{ м/с}^2$ в третьоктавных полосах частот при восьмичасовом воздействии, что в интервале частот $0,7\text{—}90 \text{ Гц}$ дает $0,46 \text{ м/с}^2$.

Экспериментально оцениваются значения вертикальных, продольных и поперечных виброускорений, которые сопоставляются со значениями предельных технических (но не гигиенических) норм для каждого вида АТС. Поэтому выполнение технических норм отдельным АТС не гарантирует соблюдение гигиенических нормативов в реальной эксплуатации.

Уровень электромагнитных излучений АТС и методы их измерения также нормируются (табл. 5.14).

Таблица 5.14. Предельные уровни электромагнитного излучения АТС при разных частотах f , дБ мкВ/м

Ширина полосы	Диапазоны частот		
	30—75 МГц	75—400 МГц	400—1000 МГц
Широкополосные излучения — расстояние до антенны 10 м			
120	34	$34+15,13\log(f/75)$	45
Широкополосные излучения — расстояние до антенны 3 м			
120	44	$44+15,13\log(f/75)$	55
Узкополосные излучения — расстояние до антенны 10 м			
120	24	$24+15,13\log(f/75)$	35
Узкополосные излучения — расстояние до антенны 3 м			
120	34	$34+15,13\log(f/75)$	45

Электромагнитные излучения, которые могут появиться в салоне АТС в результате насыщения конструкции различными сильноточными, электронными приборами и оборудованием, влияют на самочувствие и здоровье людей, но пока не нормируются.

В числе показателей, требующих регламентирования, должны быть также электростатический потенциал кузова и напряженность электромагнитного поля в салоне АТС.

Показатели комфорта. Определенный тепловой режим и химический состав газовой среды в салоне (кабине) АТС, влияющие на самочувствие и здоровье людей, связаны с необходимостью обеспечения оптимальных микроклиматических условий (без напряжения механизмов терморегуляции организма человека), и предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе.

Требования к микроклимату в кабине (пассажирском салоне) АТС регламентированы и приводятся в соответствующей нормативной литературе. Конструкция системы кондиционирования должна исключать возможность охлаждения воздуха в зоне головы водителя и пассажиров более чем на 8° относительно температуры окружающей среды. Скорость воздушного потока на выходе из системы кондиционирования не должна превышать 12 м/с, а температура воздуха должна быть не ниже 273 К. Относительная влажность в кабине (пассажирском салоне) должна находиться в пределах 30—60%. Содержание вредных веществ в воздухе салона АТС не должно превышать значений предельно допустимых, которые установлены для 1307 вредных веществ. В зоне испытаний содержание вредных веществ в атмосферном воздухе не должно превышать ПДК максимально разовых для воздуха населенных мест (ПДК_{мр}). Испытания водопыленепроницаемости кабин и кузовов АТС проводятся в пылевой и дождевой камере в течение определенного времени, после чего визуально определяются места проникновения пыли (воды) в салон АТС.

Потребление природных ресурсов. Расход топлива, который регламентируется в ходе проведения сертификационных испытаний (на подтверждение типа при постановке на производство) при постоянных скоростях движения — 40, 60, 80, 90, 120 км/ч (для разных групп АТС) и при движении в ездовых циклах.

Для контроля потребления топлива и смазочных материалов в эксплуатации используют линейные нормы расхода топлива в л/100 км, а также нормы расхода моторных и трансмиссионных масел в л/1000 км пробега, которые регламентируются на отраслевом уровне или на уровне отдельных предприятий.

5.3.3. Нормирование экологических параметров дорожно-строительной техники и инженерных объектов

В отличие от транспортных средств экологические нормативы (предельные уровни токсичности, шума) таких строительно-дорожных машин, как асфальтоукладчики, катки, скреперы, асфальтосмесители пока не разработаны. Нет предельных уровней выбросов при

осуществлении технологических процессов на асфальтобетонных заводах, при производстве строительных материалов, строительстве, ремонте и эксплуатации дорог и мостов. Но устанавливается предельное содержание вредных веществ в отдельных видах строительных материалов.

В дорожном хозяйстве, как и в автомобильной промышленности, широко используются методы санитарно-гигиенического нормирования.

Специфическим нормируемым экологическим параметром в дорожном хозяйстве является площадь постоянного и временного отчуждения земель под дорожно-транспортные сооружения. Это постоянное изъятие земель под полосу отвода и резервно-технологическую полосу (табл. 5.15).

Т а б л и ц а 5.15. Нормативы отчуждения земли дорог различных категорий

Категория дороги — число полос движения	На землях сельскохозяйственного назначения, га				На землях, непригодных для сельского хозяйства, га				Резервно-тех- нологиче- ская полоса, га	Сани- тарно- защит- ная зона, м в каждую сторону
	Поперечный уклон местности 0—50%		Поперечный уклон местности 50—100%		Поперечный уклон местности 0—50%		Поперечный уклон местности 50—100%			
	Пост. отвод	Врем. отвод	Пост. отвод	Врем. отвод	Пост. отвод	Врем. отвод	Пост. отвод	Врем. отвод		
I—8	6,3	1,8	6,4	1,8	7,4	2,3	7,5	2,3	6	300
I—6	5,5	1,7	5,6	1,7	6,4	2,2	6,5	2,2		
I—4	4,7	1,6	4,8	1,6	5,5	2,1	5,6	2,1		
II—2	3,1	1,4	3,2	1,4	3,9	2	4	2	6	200
III—2	2,6	1,3	2,8	1,3	3,6	2	3,8	2	2,4	200
IV-V—2	2,4	1,3	2,5	1,3	3,5	2	3,6	2	1,2	60

Земли, занимаемые дорожной организацией для постоянной производственной базы, учитываются обычно в составе градообразующих факторов как промышленных объектов. Ориентировочные значения площадей отчуждения территорий объектами транспортной инфраструктуры приведены в табл. 5.16.

Т а б л и ц а 5.16. Нормы отвода земель для размещения зданий и сооружений линейно-эксплуатационной службы и дорожного сервиса

Наименование комплексов и сочетаний комплексов	Площадь участков, га
Комплекс зданий и сооружений основного звена дорожной службы	2,8
Дорожно-ремонтный пункт	1,8
Асфальтобетонный завод производительностью 50 т смеси в час	3,16

Наименование комплексов и сочетаний комплексов	Площадь участков, га
Полигон железобетонных изделий производительностью 10 000 м³ в год	3,5
Пескобаза на 20 000 м³	0,8
База механизации на 300 машин	4,0
Автозаправочная станция на 1000 заправок со стоянкой	1,1
Станция технического обслуживания легковых автомобилей от 5 до 8 постов	0,17 на один пост
Автопавильон на 20 пассажиров	0,1
Площадка-стоянка на пять пассажиров	0,07
Притрассовая площадка отдыха, предприятие торговли, туалет	0,7—1,0
Контрольно-дорожный пункт	0,1
Комплекс мотеля с кемпингом, автозаправочной станцией, станцией технического обслуживания, предприятием торговли и общественного питания, моечным пунктом, площадкой-стоянкой, медицинским пунктом	9,5
Комплекс автовокзала с предприятием торговли и общественного питания, площадкой-стоянкой, медицинским пунктом, пикетом милиции	1,8
Комплекс грузового терминала с площадкой-стоянкой, медицинским пунктом, моечным пунктом, комнатой отдыха, туалетом	2,0—4,0

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Количественная оценка промышленно-транспортных воздействий на окружающую среду необходима для:

- определения значимости отдельных факторов и выявления соответствующих закономерностей;

- разработки эффективных механизмов управления природоохранной деятельностью и рациональным использованием природных ресурсов в промышленности и на транспорте.

Она осуществляется в результате *мониторинга промышленно-транспортных объектов и окружающей среды*, т.е. слежения за промышленно-транспортными объектами как источниками загрязнений и изменением состояния окружающей природной среды, а также предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов.

Особенности мониторинга объектов промышленности и транспорта, диктующие требования к измерительным приборам, оборудованию, программным средствам и расчетным методикам, связаны с:

- множественностью подвижных источников загрязнения переменной интенсивности выбросов во времени и в пространстве;

- распределенностью источников загрязнений на значительной площади территории;

- наличием большого числа параметров, которые необходимо измерять регулярно или непрерывно с высокой степенью достоверности.

В связи с этим возникают особые требования к конструкции приборов, использованию специальных методов измерений и оценки экологически значимых показателей транспортных средств, материалов, технико-эксплуатационного состояния инженерных сооружений, параметров состояния окружающей среды. Речь идет о создании комплексной системы мониторинга на основе аэрокосмического зондирования и наземного оперативного сопровождения с использованием стационарных и передвижных постов наблюдений.

Обязательным условием успешной работы такой системы является широкое использование специальных программных средств и математических методов обработки, анализа массивов текущей информации о промышленно-транспортных объектах и изменении состояния окружающей среды, восстановления информации о характеристиках транспортных потоков, уровнях загрязнения воздуха, воды, почвы, растительности на значительной площади территории (до 1000 км²), используя в качестве исходных данных результаты измерений этих параметров в отдельных (репрезентативных) точках пространства. Эти методы и средства необходимы для визуализации и представления результатов мониторинга в форме, удобной для принятия эффективных управляющих решений.

6.1. Методы измерения параметров состояния окружающей среды и экологических показателей транспортных объектов

6.1.1. Методы оценки загрязнения газовых потоков

Для определения концентраций вредных примесей в атмосферном воздухе вблизи автомагистралей и в отработавших газах двигателей используются разные методы оценки, когда анализируются индивидуальные пробы газа, взятые дискретно и при непрерывных измерениях.

Основные требования к отбору проб газа и его анализу следующие:

- все части системы отбора должны быть инертны по отношению к исследуемому компоненту;
- температура системы отбора проб должна поддерживаться на уровне, исключающем конденсацию паров или взаимодействие компонентов исследуемой газовой смеси друг с другом;
- объем пробы должен быть точно измеренным и достаточным для обеспечения требуемой точности измерений.

Автоматические приборы непрерывного действия используются для оперативного контроля уровня загрязнения атмосферного воздуха вблизи интенсивных источников выбросов (объектов энергетики, автомагистралей, химических производств и др.). Для определения токсичности автомобилей (двигателей) используют *приборы анализа индивидуальных проб* на определенном режиме работы двигателя или при испытаниях по ездовым циклам, а также *приборы непрерывного действия*.

В газоаналитической аппаратуре реализуются следующие методы измерений:

1. Непосредственное измерение показателя, характеризующего вредное вещество, без изменения химического состава пробы газа.

Используются приборы, построенные на принципах избирательной абсорбции света в инфракрасной, ультрафиолетовой и видимой частях спектра, парамагнетизма, изменения плотности, теплопроводности, показателя преломления света.

2. Вредное вещество, подлежащее измерению, переводится путем химических реакций в состояние, обладающее свойствами, доступными автоматическому измерению. Используются приборы фотометрического, гальванометрического, потенциометрического, термохимического принципов действия.

В конструкциях наиболее распространенных анализаторов различных газов используются разнообразные методы (табл. 6.1).

Т а б л и ц а 6.1. Методы анализа загрязнения воздуха

Метод анализа	Вещество
Абсорбционный метод спектрального анализа (инфракрасная и ультрафиолетовая области спектра)	CO, O ₃
Пламенно-ионизационный	Углеводороды, органические вещества
Хемилюминесцентный	NO, NO ₂ , O ₃
Флуоресцентный, пламенно-фотометрический	SO ₂ , H ₂ S
Радиометрический, гравиметрический	Пыль
Электрохимический	CO, SO ₂ , H ₂ S

Абсорбционный метод спектрального анализа газов основан на свойстве веществ избирательно поглощать часть проходящего через них электромагнитного излучения. Специфичность спектра поглощения позволяет качественно определять состав газовых смесей, а его интенсивность связана с количеством поглощающего энергию вещества. Каждому газу присуща своя область длин волн поглощения. Это обуславливает возможность избирательного анализа газов.

Сущность метода заключается в следующем: если поочередно (путем обтюрации) пропускать поток монохроматического инфракрасного (ИК) излучения, образованный после прохождения им интерференционного фильтра, через кювету с используемой газовой смесью и без нее, то на приемнике ИК-излучения будет регистрироваться переменный сигнал, который несет информацию о количестве ИК-энергии, поглощенной анализируемым газом с частотой обтюрации и, следовательно, о концентрации анализируемого газа. Анализаторами этого типа производится в частности оценка концентрации CO в атмосферном воздухе.

Недисперсионные оптико-акустические (инфракрасные) газоанализаторы широко применяются при контроле содержания CO, пропана C₃H₈, гексана C₆H₁₄ в отработавших газах бензиновых двигателей при работе на холостом ходу и под нагрузкой. Разработаны и комбинированные приборы для одновременного определения со-

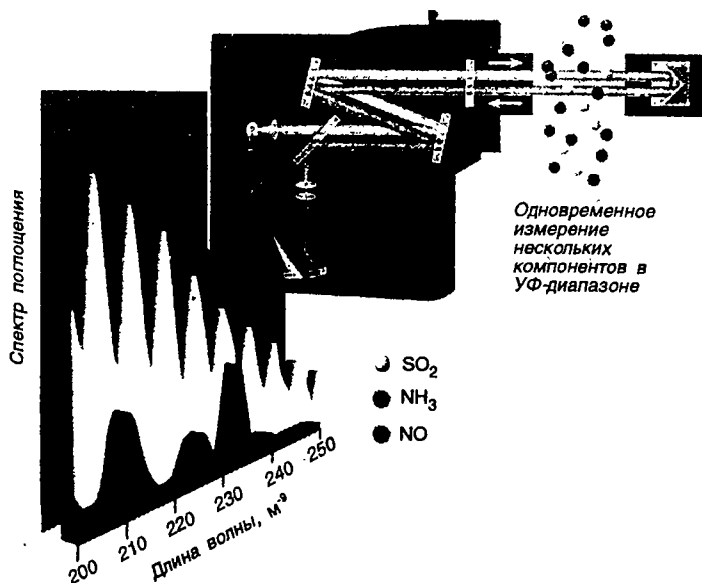


Рис. 6.1. Принцип действия оптико-акустического газоанализатора фирмы SICK

держания суммарных углеводородов, CO в отработавших газах и частоты вращения коленчатого вала в двигателях автомобилей и мотоциклов.

В энергетике используются газоанализаторы, в которых для оценки концентраций газовых примесей вместо инфракрасных излучателей используются ультрафиолетовые (рис. 6.1).

Здесь концентрации примесей также определяются по спектру поглощения. При прохождении светового луча через газовую среду часть его энергии поглощается или рассеивается. Молекула определенного вещества (SO₂, NO, NO₂, NH₃) поглощает энергию в своем специфическом диапазоне длин волн. Измерение концентраций в автоматическом режиме рассматриваемых веществ происходит одновременно без сложной процедуры сканирования спектра.

Электрохимический метод газового анализа основан на использовании химических сенсорных датчиков, состоящих из двух чувствительных элементов и определенного химического покрытия, которое непосредственно контактирует с анализируемой средой и на котором происходит адсорбция анализируемого вещества. В зависимости от того, какие физические свойства, зависящие от количества адсорбированного вещества, измеряются, датчики делятся на потенциометрические, кулонометрические, полярографические и др.

Электрохимические газоанализаторы отличаются сравнительной простотой, низкой чувствительностью к механическим воздействиям, малыми габаритами и массой, незначительным энергопотреблением.

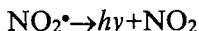
Пламенно-ионизационные газоанализаторы используются для измерения суммарной концентрации углеводородов различных классов, контроль которых избирательными методами анализа весьма сложен. Они обеспечивают надежное измерение в диапазоне концентраций $10\text{—}10\,000\text{ млн}^{-1}$, отличаются высокой чувствительностью (до $0,001\text{ млн}^{-1}$) и малой инерционностью. Позволяют раздельно определять содержание метана и реакционноспособных углеводородов, образующих в атмосфере фотохимический смог.

Метод основан на ионизации углеводородов в водородном пламени. В чистом водородном пламени содержание ионов незначительно. При введении углеводородов в пламя количество образующихся ионов значительно возрастает и под действием приложенного электрического поля между коллектором и горелкой возникает ионизационный ток, пропорциональный содержанию углеводородов. Некоторые из газоанализаторов данного типа имеют встроенный генератор водорода, что позволяет отказаться от внешних источников этого газа — газогенераторов или баллонов с водородом.

Хемилюминесцентный метод газового анализа применяется для измерения концентраций NO_x , O_3 и основан на реакции этих компонентов, подающихся одновременно в реакционную камеру, которая имеет вид:



Возбужденная молекула NO_2^* (образуется 5—10% от общего количества молекул NO_2) отдает избыток энергии в виде излучения (в диапазоне волн длиной 600—2400 нм, с максимумом при 1200 нм)



Интенсивность излучения, измеряемого фотоумножителем, пропорциональна концентрации оксидов азота. Озон получают в генераторах в результате воздействия тлеющего разряда или ультрафиолетового излучения на кислородсодержащую смесь (воздух).

Для определения концентрации O_3 в атмосфере используют реакцию озона с органическим красителем на поверхности активированного вещества, при которой также наблюдается хемилюминесценция.

Кроме того, используют в качестве газа-реагента этилен высокой степени очистки. Под действием ультрафиолетового излучения озон вступает в реакцию с этиленом, которая сопровождается люминесцентным излучением в области длин волн 330—650 нм. Газо-

анализаторы этого типа отличаются высокой чувствительностью и селективностью, а при наличии встроенного озонатора, высоким уровнем автоматизации и длительным сроком автономной работы без обслуживания.

Метод ультрафиолетовой флуоресценции используется в приборах для контроля SO_2 и H_2S . Явление флуоресценции заключается в способности определенных веществ излучать свет под воздействием излучения источника возбуждения.

Для молекул SO_2 это облучение пробы газа светом в области длин волн 200—500 нм (максимум при 350 нм), когда эти молекулы переходят из возбужденного состояния в нормальное, разряжаясь частично через флуоресценцию.

Интенсивность излучения, пропорциональная содержанию SO_2 , регистрируется фотоумножителем. Включение в состав прибора конвертора, обеспечивающего каталитическое окисление сероводорода до диоксида серы, позволяет создать аппаратуру для одновременного контроля в газовой смеси этих веществ.

Преимущество указанного метода по сравнению с методом пламенной фотометрии в отсутствии вспомогательных газов.

Гравиметрический (весовой) метод — традиционный метод определения концентрации твердых частиц в газовых смесях, связанный с отбором пробы, пропусканием ее через фильтр, взвешиванием фильтра или определением его степени черноты по эталону. Этот метод реализован в дымомерах, которые используются для определения дымности отработавших газов дизелей.

Необходимость непрерывного контроля содержания твердых частиц в отработавших газах двигателей или атмосферном воздухе привела к широкому распространению оптических, радиоизотопных методов анализа. Оптический метод анализа (рис. 6.2) основан на измерении ослабления излучения твердыми частицами при прохождении луча света через измерительный канал определенной длины.

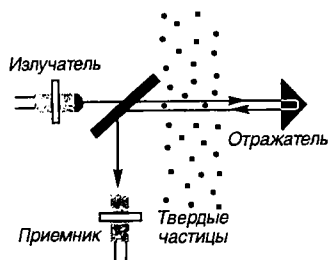


Рис. 6.2. Принцип работы прибора для оценки концентрации твердых частиц

Метод используется для качественной оценки содержания частиц на выходе из двигателей, горелочных устройств, очистных сооружений (в единицах оптической плотности газового потока при просвечивании его заданной толщины с замером на фотоземеле степени поглощения света).

Например, автомобильный дымомер типа «Хартридж» имеет шкалу, разделенную на 100 единиц. За единицу принята степень ослабления интенсивности светового потока на 1%. Но количественное

определение содержания частиц этим методом неэффективно, так как на измерение существенное влияние оказывают цветность и дисперсность частиц. Поэтому погрешность оценки концентраций может достигать десятки процентов.

Широкое распространение получил радиоизотопный метод, лишенный этого недостатка и основанный на ослаблении β -излучения частицами. Концентрация твердых частиц (пыли) вычисляется по результатам измерений на фильтре (лента из стекловолокна) до и после нанесения пробы. Лента транспортируется в детекторный блок, где расположен радиоизотопный источник, и производится замер.

Хроматографический метод широко распространен и основан на использовании свойства *разделения сложных смесей* на хроматографической колонке, заполненной сорбентом.

Проба газа вводится в поток соответствующего газа-носителя простейшей форсункой и вместе с ним пропускается через колонки с твердыми адсорбирующими поверхностями (адсорбционная газовая хроматография), или с нанесенными на твердые поверхности нелетучими жидкостями (газожидкостная хроматография). Отдельные компоненты смеси с различными скоростями перемещаются в колонке, выходят из нее раздельными фракциями и регистрируются.

Газ-носитель, транспортирующий молекулы исследуемой газовой смеси, протекает с постоянной скоростью. Колонки, по которым проходит газ, калибруются для того, чтобы установить время прохождения того или иного компонента. Соответствующий детектор используется для обнаружения или определения количества того или иного компонента смеси. Количественная оценка осуществляется по интенсивности сигнала детектора или с помощью электронных интеграторов. Этим методом могут регистрироваться химически однородные вещества (индивидуальные углеводороды) со слабо выраженной качественной реакцией (N_2O , CO), которые идентифицируются по специфичному времени удерживания.

Важнейшая часть газового хроматографа — детектор. В приборах, предназначенных для измерений загрязнения атмосферного воздуха, получили распространение следующие виды этих датчиков:

- пламенно-ионизационный детектор, который реагирует практически на все органические соединения, включая бензол, толуол, ксилол, фенол, формальдегид;

- электронно-захватный детектор — чувствителен к хлорсодержащим веществам;

- фотоионизационный детектор используется для контроля органических соединений и неорганических веществ (NH_3 , H_2S , PH_3);

- детектор по теплопроводности используется для контроля продуктов горения (CO , CO_2 , H_2 , SO_2).

В связи с внедрением современных средств электроники и миниатюризацией аналитической части хроматографов созданы портативные (переносные) приборы для осуществления газового анализа в полевых условиях (передвижные лаборатории на транспортных средствах). Наибольший интерес представляют переносные газовые хроматографы, запрограммированные для идентификации определенных компонентов газовой смеси. Результаты выражаются непосредственно в концентрации контролируемого вещества.

Лидарная система контроля загрязнения реализует лазерно-локационный метод — комбинационное рассеяние и дифференциальное поглощение загрязняющих веществ с использованием источника лазерного излучения и предназначена для дистанционного зондирования качества атмосферы. Состоит из лидара кругового обзора, который устанавливается в промышленных зонах или вблизи автомагистралей на доминирующих строениях, и предназначен для непрерывного контроля выбросов аэрозолей, NO_x , SO_2 на территории радиусом 7—15 км и измерения азимута и расстояния до источника загрязнения. Лидар второго типа на базе автомобиля — комбинационного рассеяния используется для многокомпонентного анализа концентрации примесей в воздухе.

6.1.2. Методы оценки параметрических загрязнений

Измерение уровня шума производят с помощью *шумомеров* как с присоединением к ним октавных фильтров (анализаторов спектра), так и без них.

Шумомеры состоят из датчика (микрофона или акселерометра), воспринимающего звуковое давление, усилителя и выходного звена, представляющего собой стрелочный индикатор, градуированный непосредственно в децибелах.

Наибольшие требования предъявляются к датчикам. Они должны иметь широкий рабочий диапазон частот, обладать высокой и стабильной чувствительностью, не искажать воспринимаемое звуковое поле, иметь небольшие габариты и массу. Датчики бывают электродинамические, керамические, конденсаторные, пьезоэлектрические.

Шумомеры измеряют суммарные уровни интенсивности звука в четырех частотных характеристиках: А, В, С и линейной в диапазоне частот 2—40 000 Гц. Анализатор спектра шума — усилитель, который в зависимости от настройки позволяет выделять определенную полосу частот. Он устанавливает не абсолютные уровни интенсивности шума в этих полосах частот, а их соотношение, что позволяет определить полосу с максимальной энергией (интенсивностью шума).

Анализаторы спектра шума бывают *фильтровые* и *гетерогенные*. Фильтровые состоят из набора электрических фильтров, каждый из которых пропускает определенную полосу частот. В гетерогенных анализаторах получение определенной полосы пропускания обеспечивается с помощью узкополосных кварцевых фильтров. Регистрация уровней шума может осуществляться также с помощью самописца, магнитографа, магнитофона.

6.1.3. Методы оценки загрязнения водной среды, почв, грунтов и растительности

Для оценки уровня загрязнения *водной среды* используются традиционные приборы физико-химического анализа, а также хроматографы. Контролируется мутность, цвет, запах, жесткость, удельная электрическая проводимость, коэффициент светопропускания, редокс-потенциал, активность водородных ионов (рН), уровень насыщения кислородом, активность и концентрация ионов различных веществ, поступающих в воду в виде загрязнений, и другие параметры (температура, давление, скорость потока).

Химический анализ воды осуществляется с помощью лабораторных комплектов анализа воды. В эти комплекты входят химические растворы, фарфоровая и стеклянная посуда, вспомогательное оборудование, необходимое для сбора и обработки проб, выполнения химического анализа. Физико-химические свойства воды определяются с использованием фотокалориметров, атомно-абсорбционных, инфракрасных, калориметрических спектрометров, ионометров, комплексных анализаторов качества воды.

Для контроля состояния поверхности земель, качественного и количественного состава *почв и грунтов*, оценки уровня и состава загрязнений используются приборы и оборудование, приведенные выше (анализ водной вытяжки грунта), а также ряд специальных приборов, предназначенных для определения плотности, свойств почв, грунтов (твердомер, глубинный гамма-плотномер, сдвиговый прибор, измеритель объемной влажности), параметров снегового покрова. Широко используется переносной лабораторный комплект определения гидрофизических и физико-механических свойств грунтов.

Седиментация атмосферных транспортных аэрозолей, в частности тяжелых металлов, приводит к загрязнению *растительности*. Наземные части растений аккумулируют атмосферные загрязнения, и их химический состав может быть индикатором для выделения территорий с высоким уровнем воздействия транспортных средств.

Измеряемые параметры:

- физиологическое состояние растений;
- элементный состав тканей растения.

Визуальная оценка загрязнения — проявление чрезмерного (выше установленных норм) содержания различных веществ в зеленой массе строится на идентификации явно выраженных изменений вида растений:

- медь — темно-зеленые листья, толстые короткие корни;
- железо — темно-зеленая окраска листьев, замедленный рост надземных частей растения;
- цинк — хлороз и некроз кончиков листьев, междужилковый хлороз молодых листьев;
- свинец — темно-зеленые листья, бурые короткие корни, скручивание старых листьев;
- кадмий — бурые края листьев, красноватые жилки и черешки, скрученные листья и бурые недоразвитые корни.

Определение концентрации токсичных элементов в тканях растений осуществляется по водной вытяжке в лабораторных условиях методами, рассмотренными выше.

6.2. Стационарные и передвижные посты контроля транспортного загрязнения окружающей среды

С использованием отдельных приборов измерения параметров атмосферного воздуха, воды, почвы строятся стационарные и передвижные посты и системы контроля загрязнения окружающей среды вблизи автомагистралей и экологических параметров транспортных средств. Они оснащаются дополнительно приборами контроля метеорологических параметров, определения интенсивности и состава транспортного потока, ландшафтных изменений, а также системами жизнеобеспечения (освещение, вентиляция, отопление, кондиционирование, пожаротушение, охранная сигнализация). В таблицу обязательного оборудования поста должны входить и средства предварительной обработки, передачи полученной в автоматическом режиме измерительной информации.

Основной объект контроля загрязнения — стационарный пост наблюдений, работающий непрерывно в автоматическом режиме. Наличие такого стационарного поста наблюдений позволяет изучить влияние транспортного потока на уровень загрязнения воздуха и поверхностного стока, отработать методику осуществления экомониторинга автомобильных дорог и транспортных потоков, управления потоками в режиме реального времени. В комплектацию стационарного поста наблюдения за уровнем транспортного загрязнения входят приборы для измерения концентраций NO_x , CO , C_xH_y , сажи, уровня шума, метеорологических параметров, характеристик транспортного потока и др. Для обработки и анализа информации, поступающей непрерывно от измерительных приборов,

создается аналитический центр, в котором имеются программные средства для расчета образования вторичных загрязняющих веществ, распространения загрязняющих веществ в компонентах биоты, восстановления информации об уровнях ингредиентного и параметрического загрязнения в разных точках импактной зоны.

Передвижные лаборатории используются для оценки пространственной изменчивости загрязнения на прилегающих территориях. Основное назначение передвижных постов — выявление зон с чрезмерным уровнем загрязнения компонентов биоты, отбор проб для тщательного лабораторного анализа, а также осуществления контрольных функций.

На урбанизированных территориях стационарные и передвижные посты образуют сеть мониторинга.

Основными задачами сети наблюдений за загрязнением окружающей среды являются:

- проведение непрерывных измерений уровня загрязнения воздушного бассейна, вод, почв, биоты основными источниками выбросов вредных веществ и метеорологических условий;

- информационное объединение результатов измерения загрязнения окружающей среды и общие банки данных и базы знаний;

- оценка состояния загрязнения среды с учетом метеорологических условий (в том числе и в случаях аварийных залповых выбросов);

- краткосрочное и долгосрочное прогнозирование уровня загрязнения окружающей среды с учетом прогноза изменений климатических характеристик и характеристик выбросов вредных веществ в атмосферу, воду, почву (в том числе в случаях аварийных и залповых выбросов);

- выработка рекомендаций по снижению загрязнения среды на различные промежутки времени;

- оценка эффективности проводимых мероприятий, программ, проектов, направленных на улучшение состояния окружающей среды.

Такие системы мониторинга создаются для контроля уровня загрязнения прежде всего атмосферного воздуха.

Непрерывный автоматический отбор проб представляет собой статистическую базу исследований, позволяющих обнаружить местонахождение и границы сильного загрязнения, а также определить временную эволюцию явлений (суточную, сезонную, годовую) и оценить взаимную зависимость величин, измеряемых в одной точке, и, наконец, способствует применению математических моделей. Рассмотрим особенности построения и функционирования таких систем.

С помощью оборудования, работающего круглосуточно, производится оценка концентрации химических загрязняющих веществ,

присутствующих во внешней среде и метеорологических условий. Сеть включает измерительную аппаратуру, способную поставить информацию о концентрации таких веществ, как SO_2 , H_2S , NO , NO_2 , NO_x , C_xH_y , CO , частицы пыли, O_3 .

Метеорологическая сеть состоит из наземного оборудования, предназначенного для измерения направления и скорости ветра; температуры воздуха; градиентов температуры на 100 м; суммарной солнечной радиации; относительной влажности; дождевых осадков; атмосферного давления.

Непрерывная связь через телетайп метеорологического центра обеспечивает прием метеорологических сводок из пункта радиозондирования, а факсимильный приемник воспроизводит синоптическую карту и карты абсолютной барической топографии на изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа.

Места расположения газоанализаторов должны быть выбраны таким образом, чтобы получать наиболее репрезентативные данные об окружающем воздушном пространстве. Кроме критерия точности и соблюдения технологии измерения и надежности, необходимо предусмотреть систему, отключающую прибор при обнаружении неисправности. С этой целью создается двухуровневая система контроля:

- измерение и автоматическая сигнализация под управлением компьютера;
- работа под контролем оператора.

На первом уровне производится установка нуля и градуировка прибора по запросу компьютера, который с помощью соответствующей программы на основе полученных данных калибровки корректирует результаты измерения. Второй уровень предполагает периодическое обслуживание в соответствии с требованиями прибора. Эта система позволяет получить до 85% истинных данных.

Кроме анализаторов система отбора проб атмосферного загрязнения, созданная для непрерывного контроля состояния окружающей среды, включает устройство для передачи сигналов в центр и обратно по выделенным телефонным линиям. Информация в кодах, поступающая от приборов в компьютер, декодируется и подтверждается, затем вводится в память с тем, чтобы в дальнейшем ее обработать в соответствии со следующим алгоритмом. Первая операция состоит в записи всех поступающих данных на магнитную ленту, т.е. накоплении архива. Если полученное среднее значение концентрации за полчаса с любой из станций превысит ПДК, то об этом поступает немедленный сигнал, и распечатываются сведения, включающие в себя все необходимые данные для анализа эпизода загрязнения. В противном случае полученные значения вводятся в память и распечатка данных происходит один раз в сутки.

Таким образом, система немедленно сообщает о аварийной ситуации и выдает информацию, необходимую для изучения контролируемого эпизода; в нормальных же условиях производится только запись на магнитную ленту. Важнейшими выходными параметрами системы мониторинга являются:

- средние за 20 мин величины концентраций SO_2 , H_2S , C_xH_y , NO_x , O_3 ;
- средние за час концентрации CO и трехчасовые — пыли;
- получасовые данные о метеорологических величинах;
- управление калибровкой приборов;
- выдача сигнала о превышении установленного аварийного порога по каждой отдельной станции за 12 и 24 ч;
- световая индикация аварийных ситуаций на мнемосхеме;
- вызов на экран данных за последнюю минуту или средних за 10 мин;
- статистика за некоторый промежуток времени.

Если взаимоувязать информацию с результатами мониторинга атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и транспортных потоков на улично-дорожной сети крупного города в режиме реального времени, то можно обеспечить экологически ориентированное управление движением транспорта одновременно на всей дорожной сети.

Прообраз первичного звена такой системы мониторинга загрязнения окружающей среды вблизи автомагистрали и транспортных потоков — поста наблюдений создан в МАДИ-ТУ совместно с АО «Прима-М». Он регулярно разворачивается вблизи МАДИ-ТУ на Ленинградском проспекте на расстоянии 7,5 м от кромки проезжей части (рис. 6.3) с использованием передвижных лабораторий АО «Прима-М» и кафедры промышленно-транспортной экологии МАДИ-ТУ.

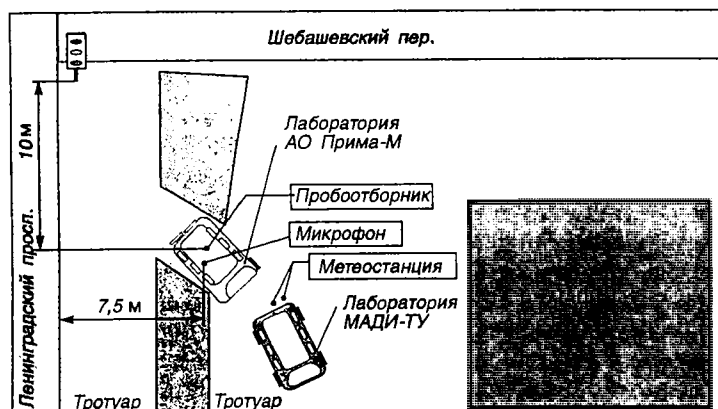


Рис. 6.3. Расположение поста мониторинга загрязнения окружающей среды и транспортных потоков

Измерения концентрации СО в атмосферном воздухе на высоте 2,5 м осуществляются газоанализатором МГЛ-19-СО, в котором реализован электрохимический метод, с записью результатов в дискретной форме в непрерывном режиме в течение суток. Измерение содержания NO, NO₂ выполняется газоанализатором ЕТ-909, реализующим хемиллюминесцентный метод, с записью результатов в дискретной форме непрерывно в течение суток. Для измерения концентрации O₂ в атмосферном воздухе используется многокомпонентный газоанализатор Testo-Termo 33 (Testo, ФРГ), который содержит несколько диффузионных электрохимических ячеек-датчиков, предназначенных для определения концентрации O₂, СО, NO, NO₂, SO₂, а также позволяет расчетным путем определить содержание СО₂. Радиационный фон измеряется прибором ДРГ-25 М, уровень звукового давления транспортного потока в диапазоне частот 31,5—8000 Гц — шумомером НА-29 (RION, Япония). Температура воздуха измеряется электронным цифровым термометром — измерителем-регулятором ИРТВ-5215 и измерителем-преобразователем температуры и влажности ИПТВ-056 с полупроводниковым датчиком температуры, а скорость и направление ветра — анеморумбометром М63-М1.

Оценка погрешностей измерений приборами приведена в табл. 6.2.

Т а б л и ц а 6.2. Диапазоны и погрешности измерения параметров

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Погрешность измерения, %
СО, мг/м ³	0—100	2
NO, мг/м ³	0—10	25
NO ₂ , мг/м ³	0—10	25
O ₂ , % (по объему)	0—25	20
Гамма-излучение, мкР/ч	0—10 000	20
Уровень звукового давления, дБА	0—110	±5 дБА
Скорость ветра, м/с	0—60	3
Направление ветра, град	0—360°	±5°
Температура воздуха, °С	-50—+50	1

Измерение и регистрация характеристик транспортного потока (скорости движения, интенсивности и состава транспортного потока) в контрольном сечении автомагистрали выполняется с помощью цветной видеосъемки с последующей расшифровкой видеозаписи. Состав транспортного потока определяется вручную при воспроизведении записи в режиме уменьшенной скорости протяжки ленты, а также с использованием режима «стоп-кадр» для фиксирования сложных ситуаций при определении состава транспортного потока.

Уровень загрязнения поверхностного стока и почвы 142 веществами, в том числе алюминием, барием, бензотриазолом, бором, бро-

мом, кадмием, ионами хлора, диоксидом хлора, свободным хлором, хромом шестивалентным, трехвалентным, свободным хромом, кобальтом, медью, платиновым кобальтом, цианидами, фторидами, оксидами железа (в воде и почве), свинца, марганца, никеля, молибдена, цинка, нитратами, а также оценки уровня содержания азота, фосфора, калия, сульфатов и сульфидов (в почве), кислорода, нефтепродуктов, органических соединений осуществляется с использованием спектрофотометра DR-2000 (фирма Hach, США).

Кроме этого в состав лаборатории входят измерители температуры воды, электрической проводимости и общего содержания растворенных солей (ионов натрия, калия и др.) концентрации водородных ионов (рН-метр), а также цифровой титратор для определения объемной концентрации растворенных в воде веществ, кюветы для отбора и хранения проб.

6.3. Результаты оценки транспортного загрязнения окружающей среды вблизи автомагистрали и на территории крупного города

Комплексные оценки воздействия транспорта на компоненты биоты вблизи крупнейших автомагистралей и на территории крупного города с использованием современных измерительных комплексов позволяют не только оценить уровень воздействия и реакцию среды на него, но и выявить тенденции и закономерности такого воздействия.

Самый простой способ оценки воздействия транспорта не на отдельных участках, а на всей площади урбанизированной территории предполагает размещение постов наблюдений равномерно по всей территории таким образом, чтобы они позволяли с использованием средств измерений достоверно оценивать значения параметров окружающей среды в любой точке пространства. Однако это реально по экономическим соображениям.

Размещать посты наблюдений за состоянием окружающей среды целесообразнее в наиболее информативных точках пространства, особенно если они совмещены с постами мониторинга транспортных потоков. Для этого необходима мощная программно-аналитическая база восстановления информации и прогнозирования состояния среды. В этом случае можно при сохранении достоверности измерений на порядки снизить количество постов.

Требуется также разработка специальных методов для сбора, накопления, предварительной обработки данных, поступающих от сети постов непрерывно, особенно если ставится задача экологически ориентированного управления транспортными потоками на значительной площади территории в режиме реального времени.

6.3.1. Экспериментальные оценки

Измерения параметров состояния среды на придорожной территории и характеристик транспортного потока проводились на одной из крупнейших автомагистралей г. Москвы (Ленинградском проспекте) в разное время года. Искусственное покрытие участка автомагистрали (15 полос движения транспорта в обе стороны) представляет собой многослойное асфальтобетонное покрытие, верхний слой которого мелкозернистый асфальтобетон. Отвод поверхностных вод выполнен путем придания поверхности покрытия поперечного и продольного уклонов. Величина поперечного уклона порядка 0,02, а величина продольного уклона переменна по длине трассы и находится в пределах 0—0,005. В зимнее время поверхность дороги обрабатывается хлоридами в количествах, исключающих образование снежного наката и гололеда.

Интенсивность движения достигает 16—20 тыс. авт/ч, суточная — более 200 тыс. авт/сут (рис. 6.4), что многократно превышает заложенные в СНиПах на проектирование и строительство дорог расчетные значения интенсивности, на основании которых производится оценка воздействия дороги на окружающую среду и разрабатываются природоохранные мероприятия.

В светлое время суток она превышает 10 тыс. авт/ч. В ночное время минимальная интенсивность движения порядка 1 тыс. авт/ч наблюдается с 4 до 5 ч. В структуре транспортного потока (рис. 6.5) преобладают легковые автомобили (более 95%) при соотношении численности бензиновых и дизельных АТС (в %) для легковых автомобилей — 96/4, грузовых — 68/32, автобусов — 74/26.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха. На рис. 6.6 представлены графики изменения максимально разовой (время

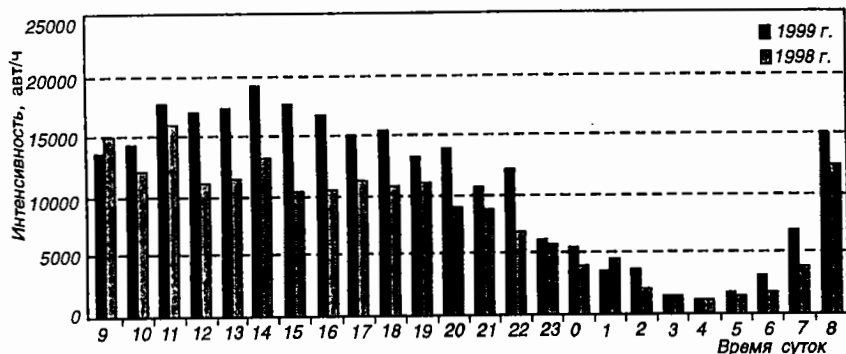


Рис. 6.4. Изменение интенсивности движения транспорта на автомагистрали (Москва, Ленинградский проспект, 16-17.07.98 и 7-8.07.99)

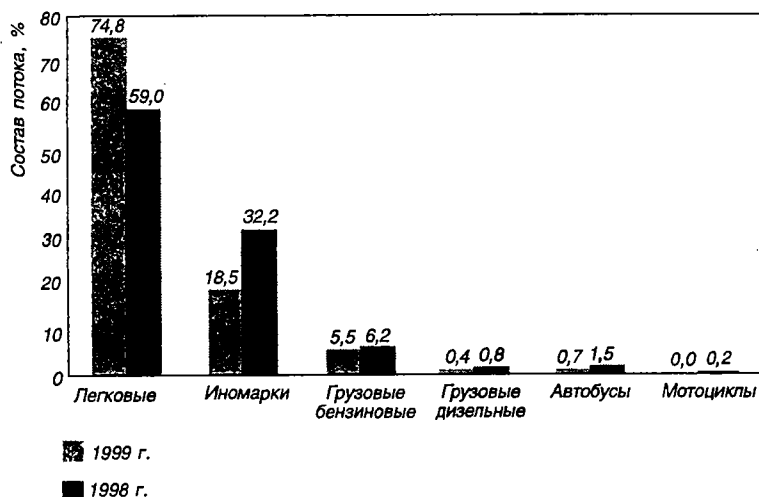


Рис. 6.5. Средний состав транспортного потока на автомагистрали

осреднения — 20 мин) концентрации CO, NO и NO₂. В табл. 6.3 приведены результаты оценки среднесуточных концентраций данных компонентов, а также время превышения предельно допустимых концентраций в течение суток.

Т а б л и ц а 6.3. Среднесуточные концентрации CO и NO_x в приземном слое атмосферы и доля времени превышения ПДК в течение суток вблизи автомагистрали

Время проведения замера	Среднесуточные концентрации, мг/м ³				Доля времени превышения ПДК, %					
	CO		NO _x		CO			NO _x		
	Измерения	ПДК	Измерения	ПДК	1—2 ПДК	2—5 ПДК	>5 ПДК	1—2 ПДК	2—5 ПДК	>5 ПДК
16-17.07.98	4,4	1,0	0,251	0,085	23,1	10,2	—	20,6	49,2	16,0
7-8.07.99	4,0	1,0	0,174	0,085	23,4	3,8	—	42,4	23,3	8,1

Примерно 30% времени суток концентрация CO превышает ПДК, причем превышение от 2-х до 5-и раз в 1998 г. составило 10,2%, а в 1999 г. — 3,8%. Превышение максимально разовых ПДК концентраций оксидов азота наблюдалось около 80% времени суток. Среднесуточный норматив по оксидам азота также значительно превышен. Высокая степень загрязнения оксидами азота (свыше 5 ПДК) наблюдалась в 1998 г. в течение 4 ч в течение суток, а в 1999 г. — 2 ч.

Измеренные концентрации в приземном слое атмосферы вблизи автомагистрали твердых частиц не превышали санитарно-гигиени-

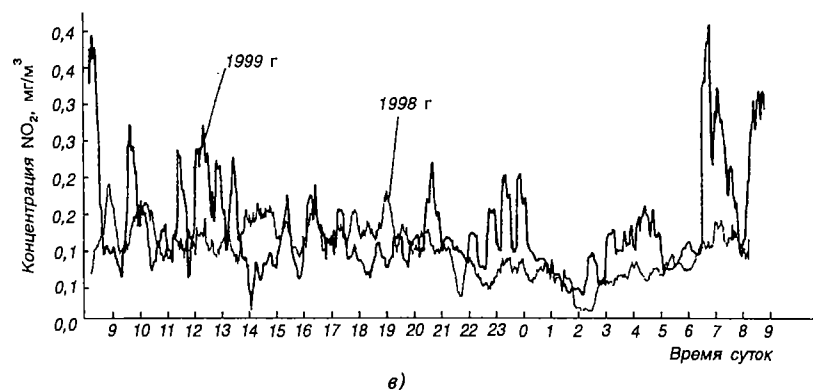
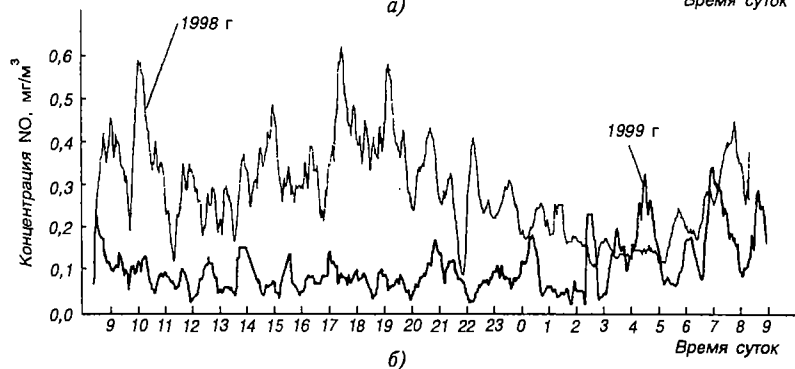
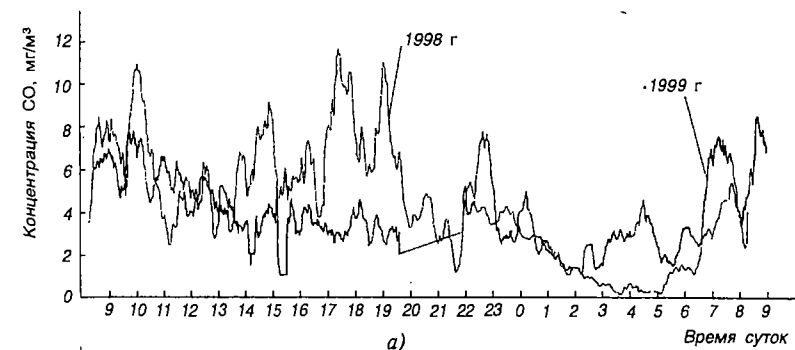


Рис. 6.6. Суточное изменение концентраций CO (а), NO (б), NO_2 (в) в атмосферном воздухе вблизи автомагистрали

ческих норм. Большая степень загрязнения воздуха CO и NO_x в 1998 г. при меньшей интенсивности транспортного потока, чем в 1999 объясняется влиянием природно-климатических факторов. Во второй год наблюдений направление и скорость ветра были та-

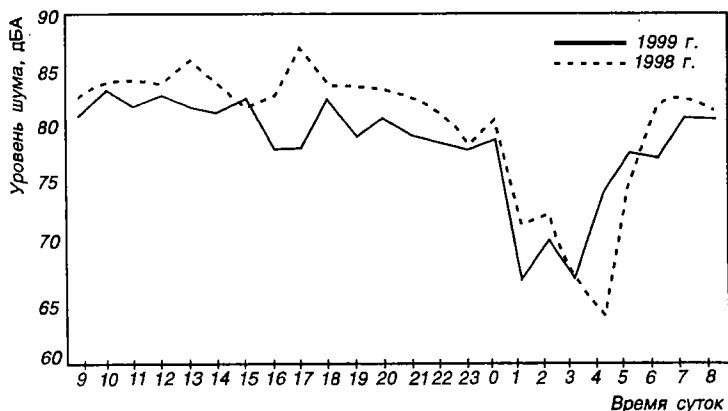


Рис. 6.7. Суточное изменение шума вблизи автомагистрали

ковы, что загрязнители относились ветром с магистрали в сторону, противоположную посту наблюдения. Средняя дневная температура в 1998 г. составляла $+22^{\circ}\text{C}$, а в 1999 г. — $+30^{\circ}\text{C}$, что указывает на более интенсивную тепловую конвекцию, а следовательно, и лучшее вертикальное рассеивание загрязнителей.

Значительно превышен в течение всего периода наблюдений предельно допустимый уровень энергетического (шумового) загрязнения атмосферного воздуха (рис. 6.7), составляющий 60 дБА, для территорий больниц и детских учреждений. Максимальные значения уровня шума зафиксированы в дневные часы (более 80 дБА), а минимальные — ночью.

В период времени 11—13 ч 16.07.98 г. зафиксировано снижение содержания кислорода с 20,9 до 18,6% (11.00), затем некоторое повышение до 19,4 % (12.00) и медленное восстановление нормального уровня содержания кислорода к 13.00 (21%) (рис. 6.8).

Снижение содержания кислорода сопровождалось ростом содержания диоксида углерода до 0,8%, т.е. почти в 20 раз по сравнению с фоном. В 1999 г. отклонений значений концентраций O_2 и CO_2 от фоновых обнаружено не было. Причина понятна — потребление кислорода воздуха и выделение диоксида углерода в результате процессов горения в автомобильных двигателях. Такая ситуация часто наблюдается в плохо проветриваемых автомобильных тоннелях. Впервые обнаруженное в открытой атмосфере это явление характеризует крайне высокий уровень антропогенного воздействия транспорта на окружающую среду и нарушение ее регенерационных свойств (репродуктивной способности по кислороду).

Уровень содержания кислорода является достаточно стабильной

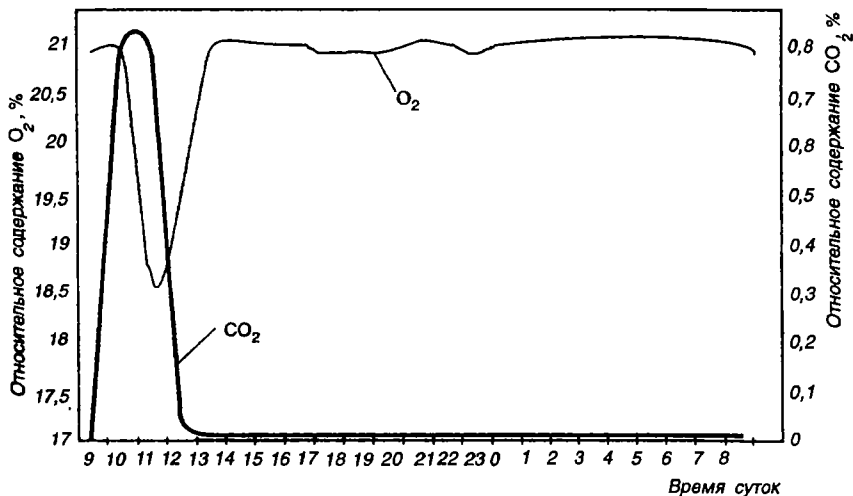


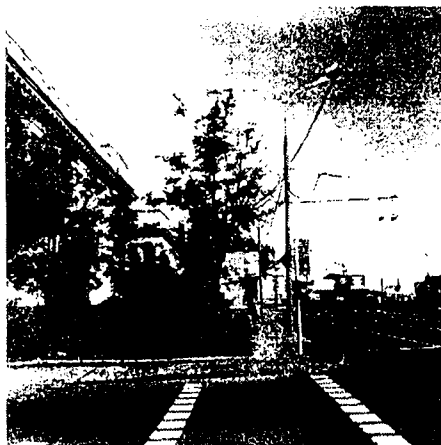
Рис. 6.8. Изменение концентрации CO_2 и O_2 в атмосфере вблизи автомагистрали

величиной, которая практически не имеет суточной зависимости, а годовой ход содержания кислорода отмечен уменьшением содержания в зимнее время на 0,1—0,3%. Нестабильность содержания кислорода ухудшает экологическую ситуацию: увеличивает выброс вредных веществ, возможно отклонение в жизнедеятельности биоорганизмов, включая человека (повышенная утомляемость, активизация астматических явлений, нарушение деятельности нервной системы).

Уровни загрязнения других компонент окружающей среды. В зимний и весенний периоды, при отсутствии и наличии поверхностного стока выполнены измерения общего содержания солей в пробах снега, льда и воды, а в летний период — пробах грунта и поверхностного стока. На участках магистрали, примыкающих к тротуарам, происходит аккумуляция солей, используемых в качестве противогололедных материалов, что приводит к увеличению концентрации их в водах поверхностного стока и в почвах в 3—5 раз по сравнению с санитарно-гигиеническими нормативами.

Результаты визуальной оценки влияния автомобильных выбросов на растительность вблизи автомагистрали (рис. 6.9, а также рис. 6 на цветной вклейке) показывают, что древесно-кустарниковая растительность находится в крайне угнетенном состоянии. Как показали результаты многолетних наблюдений, деревья не выдерживают чрезмерных транспортных нагрузок и гибнут.

Исследование состояния зеленых насаждений Ленинградского проспекта показало прямую зависимость между внешним состоя-



а)



б)

Рис. 6.9. Влияние транспортных загрязнений на древесно-кустарниковую растительность вблизи автомагистрали (июль, 1999):

а — левая сторона перекрестка; б — правая сторона перекрестка

нием деревьев и интенсивностью газопылевых выбросов транспортными потоками. Наибольшее угнетение растительности наблюдалось на перекрестках. Одиночно стоящие деревья более чувствительны к воздействию выбросов автотранспорта, по сравнению с групповыми посадками. В отдельных случаях действие усугублялось сопутствующими факторами, характерными для городской территории (наличие вентиляционных шахт метрополитена, теплосетей и др.). Значительное влияние на растительность Ленинградского проспекта оказывали вредители и болезни деревьев, особенно для посадок монокультур. Анализ листовых пластинок различных видов деревьев выявил загрязнения придорожной полосы цинком, свинцом и кадмием, поскольку наблюдался хлороз и некроз листьев, междужилковый хлороз, скручивание старых листьев и побурение краев.

6.3.2. Расчетные оценки воздействия транспорта на окружающую среду на урбанизированных территориях

Для расчетной оценки концентраций автомобильных выбросов в атмосфере можно использовать подход (рис. 6.10), предусматривающий оценку:

— удельных выбросов и расхода топлива при разных скоростях движения и в ездовых циклах одиночных АТС, составляющих транспортный поток;

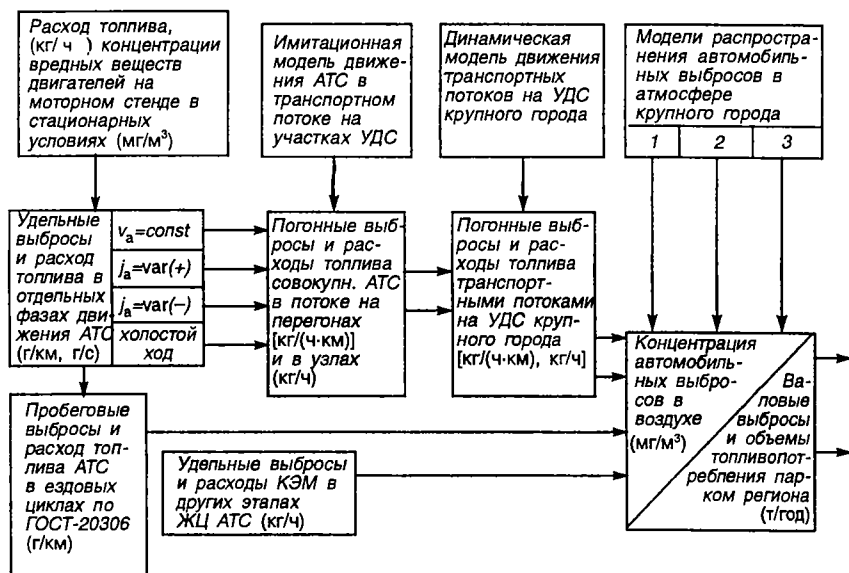


Рис. 6.10. Блок-схема взаимосвязи при оценке концентраций транспортных выбросов в атмосфере на территории крупного города

- выбросов и расхода топлива транспортным потоком на отдельных участках дорожной сети (на перегонах и перекрестках);
- концентрации компонентов автомобильных выбросов в приземном слое атмосферы на рассматриваемом участке автомагистрали или улично-дорожной сети в целом.

Удельные выбросы одиночных АТС разных марок, составляющих транспортный поток, а также выбросы транспортными потоками на перегонах и перекрестках можно оценить с использованием методик, приведенных в гл. 3 или в [24, 31—33].

Для оценки концентраций компонентов транспортных выбросов в атмосфере используются модели расчета турбулентной диффузии различной степени сложности [24, 43, 45]:

а) упрощенная модель расчета концентраций выбросов с постоянными коэффициентами поглощения различными подстилающими поверхностями;

б) модель средней сложности с переменными коэффициентами диффузии и поглощения;

в) модель, учитывающая влияние на рассеивание загрязнений различных природно-климатических факторов, рельефа местности, застройки территории, характеристик подстилающих поверхностей, процессов, происходящих в атмосфере. Эта модель реализована, на-



Рис. 6.11. Расчетная оценка приземной концентрации CO от автотранспорта на участке городской территории (512×512 м) с использованием модели ZONE:

1 — жилые здания и сооружения

пример, в программно-методическом комплексе ZONE (рис. 6.11) [43].

При оценке выбросов транспортными потоками можно использовать два подхода: без учета влияния транспортных средств друг на друга при движении в потоке и с учетом такого влияния. В первом случае выбросы отдельных АТС, движущихся в потоке на участке дороги, просто суммируются, во втором — учитывается логика действий отдельных водителей, совершающих маневрирование в транспортном потоке, т.е. отслеживается движение не совокупности машин, а отдельных автомобилей в этой совокупности [44]. В имитационной модели транспортный поток представлен в виде пяти подсистем, каждая из которых описывается схемой кусочно-непрерывного агрегата в виде условного марковского процесса с кусочно-непрерывными траекториями и переменной размерностью.

В процессе моделирования осуществляется генерация АТС методом Монте-Карло на участок дороги и интервалами появления АТС в виде случайной величины с экспоненциальным распределением. Характеристики транспортного потока устанавливаются на основании определения количества выходов траектории системы (участка дороги с движущимися автомобилями) на границу и времени нахождения

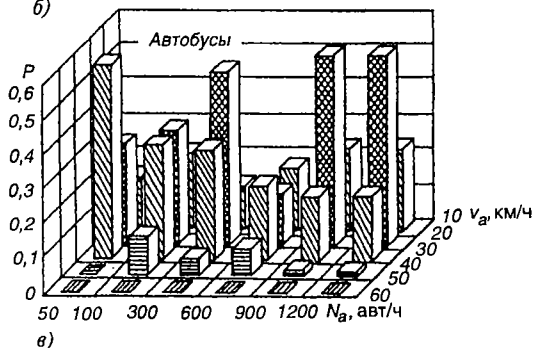
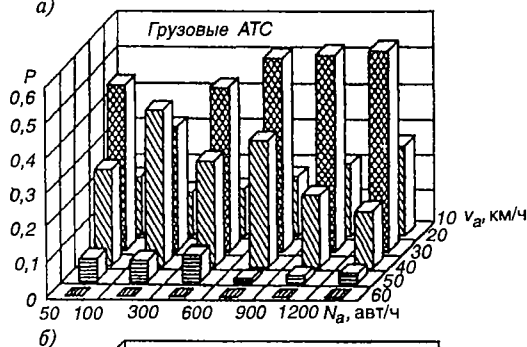
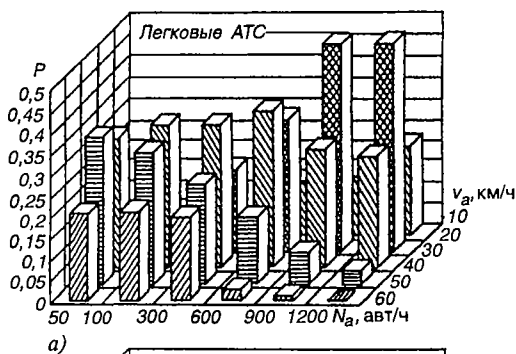


Рис. 6.12. Вероятность попадания разных групп АТС в заданные диапазоны скоростей транспортного потока (результаты имитационного моделирования)

траектории системы в заданных подмножествах пространства состояний. Включение элементов искусственного интеллекта в данную модель осуществляется на основании принятия гипотезы о том, что водитель может изменить свое мнение или траекторию движения АТС только при наступлении определенных ситуаций — «особых состояний». Выделено 17 таких типичных ситуаций поведения водителя в разных условиях движения. Результатом моделирования является вероятность попадания различных групп АТС в заданные диапазоны скоростей транспортного потока (рис. 6.12) [24].

Они использовались при оценке выбросов транспортных потоков в формуле (4.1). Табуляция и привязка координат узлов и перегонов (вершин и ребер графа дорожной сети) к топографической карте (города) региона осуществляется вручную или с использованием специальных технических устройств.

Апробация данной методики проводилась на примере улично-дорожной сети (УДС) г. Москвы. Количественные оценки погонных выбросов вредных веществ, расходов топлива осуществлены для опорной сети, включающей основные магистрали и улицы общегородского значения, протяженность которых составляет 763,4 км (около 1/4 общей про-

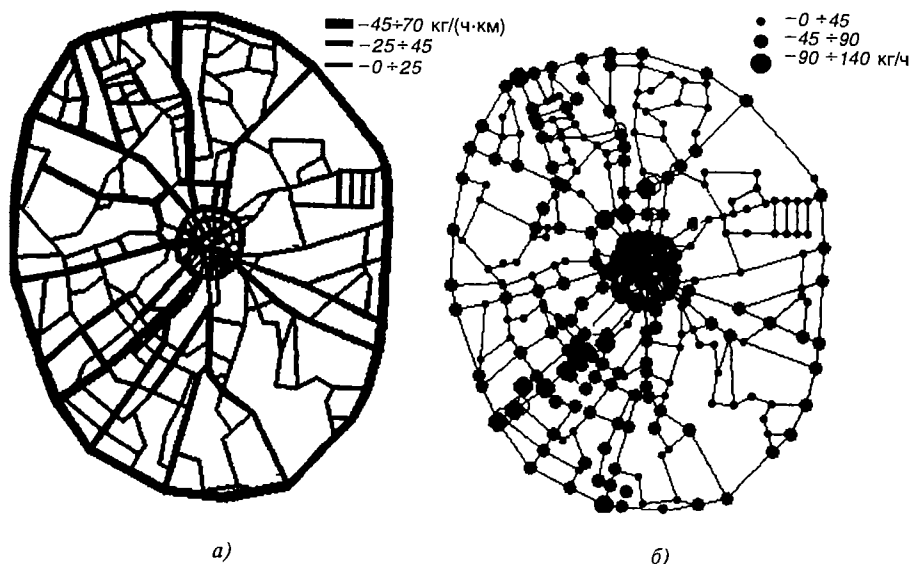


Рис. 6.13. Выбросы СО транспортными потоками на дорожной сети крупного города:
 а — на перегонах, кг/(км·ч); б — на пересечениях, кг/ч

тяженности). На этой сети одновременно в светлое время суток находятся от 57 до 80 тыс. автомобилей и потребляется примерно 3/4 суточного объема моторного топлива. Эта опорная УДС представлена в виде излучающего графа, состоящего из 331 вершины (узла) и 501 ребра (перегона), соединяющих две заданные вершины, различающиеся числом полос движения в каждом направлении. Каждая из вершин характеризуется геометрическими координатами и списком инцидентных ребер, другими статистическими характеристиками, привязка которых осуществлялась к топографической карте города в пределах кольцевой автомобильной дороги.

Пример привязки выбросов СО транспортными потоками к улично-дорожной сети крупного города (известна интенсивность и состав потока на перегонах) показан на рис. 6.13 [24].

Такой подход целесообразно использовать при оценке транспортных выбросов на локальных участках дорожной сети. Может он также использоваться и для интегральных оценок транспортного загрязнения улично-дорожной сети крупного города или мегаполиса в задачах средне- и долгосрочного прогнозирования, например, при обосновании строительства транспортных развязок, объездов, дублеров оживленных автомагистралей, организации одностороннего движения на кольцевых дорогах, обоснования рациональной плотности дорожной сети на урбанизированной территории или предельного уровня ее моторизации и др.

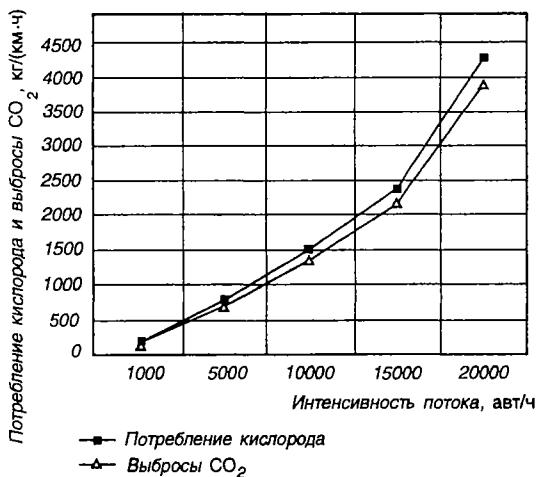


Рис. 6.14. Зависимость объемов потребления O_2 и выделения CO_2 от интенсивности транспортного потока на автомагистрали крупного города

Используем приведенный выше алгоритм для оценки объемов выбросов диоксида углерода и потребления кислорода воздуха транспортом и населением крупного города (г. Москвы) с целью определения репродуктивной способности ландшафта урбанизированной территории по выработке кислорода. Для этого используем полученные расчетным путем по методике, изложенной в гл. 4, зависимости объемов потребления кислорода и выбросов диоксида углерода от интенсивности транс-

портного потока (рис. 6.14), а также данные по регенерационным свойствам среды (производство кислорода зелеными насаждениями в результате фотосинтеза на рассматриваемой территории).

Установлено, что суммарный выброс CO_2 населением и парком машин в Москве составляет 7,1 млн. т/год. Для поддержания баланса кислорода площадь, занимаемая зелеными насаждениями, должна составлять 2,03 млн. га (в наличии только 27500 га, т.е. в 74 раза меньше). Полученный результат говорит о чрезмерной антропогенной нагрузке транспорта на окружающую среду в мегаполисе, чему подтверждение локальное снижение концентрации кислорода и рост концентрации CO_2 вблизи автомагистрали (см. рис. 6.8), а также деградация, гибель растительности (см. рис. 6.9). Для восстановления баланса O_2 и CO_2 в атмосфере из-за их потребления (выделения) пассажирами и транспортными средствами с интенсивностью потока 10 000 авт/ч необходимы лесные полосы вдоль дороги шириной 1000—7000 м. Это практически нереально. Нужны новые подходы к решению экологических проблем на урбанизированных территориях.

Достоверность оценки погонных расходов топлив и выбросов вредных веществ транспортными потоками на всей дорожной сети зависит от надежности результатов измерений характеристик транспортных потоков на участках УДС города в разное время суток, дни недели, сезоны года, при образовании экстремальных ситуаций (заторов, пробок).

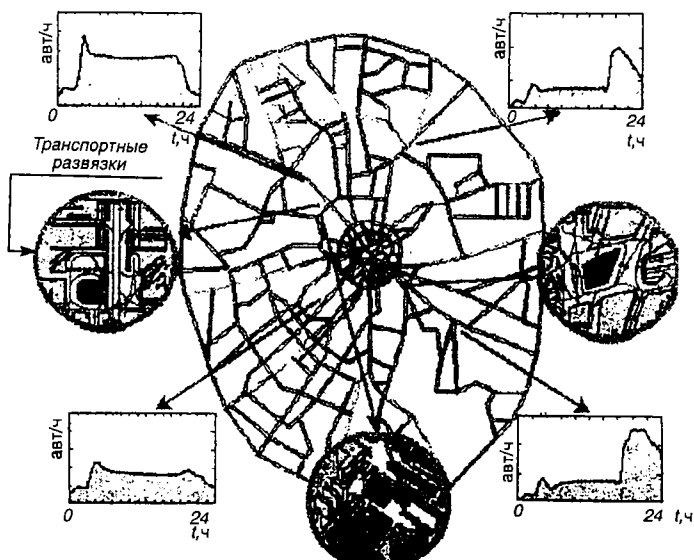


Рис. 6.15. Визуализация результатов имитационной модели расчета характеристик транспортных потоков в режиме реального времени

Это возможно сделать либо методом фотографирования из космоса (большие финансовые затраты), либо с использованием имитационных моделей. Так, модель, приведенная в [45], позволяет оценивать характеристики транспортных потоков одновременно на всей дорожной сети крупного города в режиме реального времени (рис. 6.15).

Для корректировки текущих расчетных значений параметров транспортных потоков на сети эта модель должна использоваться совместно с системой дистанционного контроля характеристик транспортных потоков на УДС с помощью индукционных датчиков, встраиваемых в дорожное полотно или других датчиков, измеряющих текущую интенсивность и состав транспортного потока на контрольных участках сети [45]. Получаемая таким путем информация с характеристиками транспортных потоков является необходимой для координированного управления светофорными объектами одновременно на всей сети крупного города при реализации экологически приемлемых алгоритмов управления движением транспортных потоков, оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильными выбросами.

На пути создания достоверных методик этого типа стоят не только методические, но и технические сложности, связанные с большой размерностью задачи, когда необходимо одновременно отслеживать поведение на дорожной сети до 500 тыс. единиц под-

вижного состава. И делать это необходимо в режиме реального времени. Современные вычислительные средства такую задачу решить пока не в состоянии.

С помощью упрощенной модели оценки распространения выбросов вредных веществ можно рассчитать концентрацию вредных веществ, выделяемых совокупностью линейных и точечных источников (перегоны и узлы УДС, промышленных предприятий), в атмосферном воздухе крупного города и построить карты территории с изолиниями концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы.

Решаются стационарные и нестационарные двумерные уравнения диффузии с поглощением при принятии соответствующих допущений, что размеры источников выбросов значительно меньше размеров площади территории, на которой моделируется процесс распространения загрязнений. Источник загрязнения рассматривается как точечный или линейный. Учет химического взаимодействия компонентов вредных выбросов между собой и с элементами атмосферы осуществляется по формуле

$$c = c_v \exp(-\lambda l / u_v), \quad (6.1)$$

где c_v — концентрация вещества в воздухе без учета химических реакций; λ — скорость полураспада (полувыведения) загрязняющего вещества в атмосфере; l — пройденное расстояние; u_v — скорость ветра. Время полураспада рассматриваемых примесей составляет от нескольких часов до нескольких суток.

Стационарное двумерное уравнение диффузии с поглощением имеет вид:

$$D \Delta c(\bar{r}) - \beta_n c(\bar{r}) = - \sum_{i=1}^n I_i \delta_1(\bar{r} - \bar{r}_i), \quad (6.2)$$

где D — коэффициент турбулентной диффузии; Δ — оператор Лапласа; $c(\bar{r})$ — концентрация вредного вещества; $\bar{r}$ — координаты точки на плоскости; β_n — коэффициент поглощения, зависящий от характеристик подстилающих поверхностей, протекающих физико-химических превращений в атмосфере; I_i — мощность i -го источника выделения вредного вещества, имеющего координаты $\bar{r}_i$; $\delta_1(\bar{r} - \bar{r}_i)$ — функция Дирака.

В случае одного источника излучения, помещенного в начало координат, уравнение (6.2) может быть представлено в виде

$$\Delta c(\bar{r}) - k^2 c(\bar{r}) = -(I/D) \delta_1(\bar{r}), \quad (6.3)$$

где $k = (\beta_n/D)^{0.5}$ — диффузионная длина.

Функцию Грина для уравнения (6.3) можно записать в виде

$$G(\vec{r}) = (I/2\pi D_i) K_0(k\vec{r}). \quad (6.4)$$

Здесь $K_0(k\vec{r})$ — функция Бесселя мнимого аргумента (функция Макдональда).

Решение уравнения (6.2) с учетом изложенного может быть представлено в виде:

$$c(\vec{r}) = (1/2\pi D_i) \sum_{i=1}^n I_i K_0(k|\vec{r} - \vec{r}_i|), \quad (6.5)$$

где $|\vec{r} - \vec{r}_i|$ — расстояние от рассматриваемого точечного источника до i -го источника излучения вредного вещества.

В качестве исходных данных использовались матрица с геометрическими координатами линейных и точечных источников излучения вредных веществ и их интенсивность по времени.

На рис. 6.16 в качестве примера приведены изолинии среднесуточных концентраций суммарных углеводородов по территории г. Москвы от транспортных потоков, которые соответствуют концентрации C_xH_y до 0,6 среднесуточной предельно допустимой [ПДК_{сс}] (а); до 1,0 [ПДК_{сс}] (б) и до 2,0 [ПДК_{сс}] (в).

Результаты расчетной оценки концентраций NO_x (относительно [ПДК_{мр}]) над территорией г. Москвы (май, 1994) при наиболее неблагоприятных погодных условиях — полного штиля, источниками которых является промышленность и транспорт, приведены на рис. 7 цветной вклейки.

Зоны максимальных концентраций данного и других компонентов автомобильных выбросов по конфигурации повторяют конфигурацию улично-дорожной сети города. Максимальные превышения [ПДК_{мр}] по CO , NO_x и C_xH_y наблюдаются в районах проложения автомагистралей и в пределах Садового кольца.

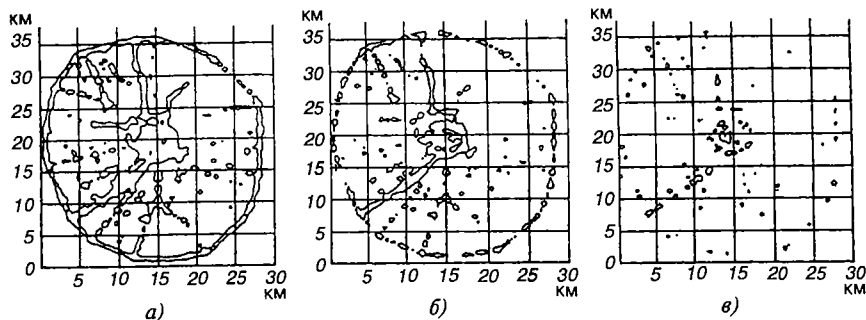


Рис. 6.16. Изменение среднесуточных концентраций углеводородов от транспортных потоков на дорожной сети крупного города

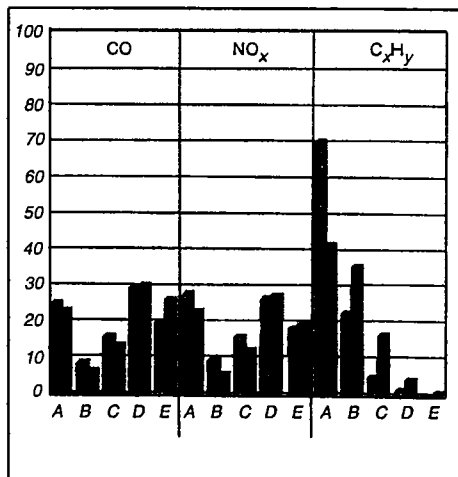
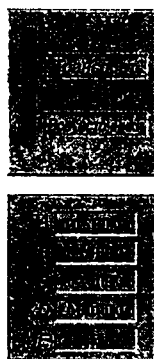


Рис. 6.17. Распределение уровней загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом и промышленностью по территории крупного города

Пятикратное и более превышение [ПДК_{мр}] на значительных площадях территории под воздействием транспорта и промышленности наблюдается для CO и NO_x (26 и 20% городской территории), в то время как для C_xH_y на 80% площади территории значения концентраций не превышают [ПДК_{мр}], а пятикратное и более превышение [ПДК_{мр}] наблюдается только на 1,5% площади территории (рис. 6.17).

Результаты расчета концентраций NO_x на 11 ч 16 июля 1998 г. в расчетном сечении автомагистрали по модели ZONE (решение двумерной задачи диффузии) при разных скоростях ветра с использованием зависимостей погонных выбросов от интенсивности по методу МАДИ-ТУ приведены на рис. 8 цветной вклейки.

Сравнивая эти данные с результатами измерений (скорость ветра 1 м/с, рис. 6.6), можно видеть высокую степень совпадения расчетных и экспериментальных значений концентраций.

Расчетная оценка миграции загрязнителей в почве и водной среде не имеет такой актуальности для промышленно-транспортных источников, как оценка загрязнения атмосферного воздуха, поэтому в работе подробно не рассматривается.

Результаты экспериментальных и расчетных оценок воздействия транспорта вблизи других автомагистралей города (на расстоянии до 100—150 м от кромки проезжей части дорог) показывают, что там образуются зоны локальных экологических катастроф (см. раздел 5.2.3). Проживающее в этих зонах население, а также животные, растительность постоянно подвергаются воздействию транспортно-

го шума (превышение предельно допустимого уровня 5—25 дБА), загрязненного сверх санитарных норм воздуха. Ибо концентрация в атмосферном воздухе СО и NO_x соответственно более 30 и 80% времени в течение суток превышает предельно допустимые. При определенных природно-климатических условиях в приземном слое атмосферы в таких зонах наблюдается повышение концентрации озона (в 2 раза по сравнению с фоном), диоксида углерода (20-кратное превышение фоновой концентрации), снижение содержания атмосферного кислорода (до 18,6%). Концентрация тяжелых металлов, солей в почве, поверхностном стоке вблизи автомагистралей также превышает санитарно-гигиенические нормативы.

Все эти факторы действуют одновременно и приводят к деградации и гибели зеленых насаждений, нарушению репродуктивных функций придорожных ландшафтов по воспроизводству кислорода, питьевой воды и др. Человеку приходится жить в условиях, к которым он биологически не приспособлен. Отсюда психоэмоциональные расстройства, рост простудных, инфекционных заболеваний, нарушений обмена веществ.

Таким образом, за рост комфорта, материальных и моральных благ, которые дает отдельному индивидууму автомобиль, промышленное производство он должен платить большую цену. Причем с развитием автомобилизации эта цена будет постоянно возрастать.

Мы пока не можем количественно установить предельный уровень моторизации (или промышленно-транспортного освоения) конкретных урбанизированных территорий, начиная с которого экосистемы будут полностью разрушены в течение непродолжительного отрезка времени и будут созданы неприемлемые для человека условия существования. Однако то, что экосистемы на урбанизированных территориях интенсивно деградируют, окружающая природная среда теряет репродуктивные свойства под действием промышленности и транспорта и это негативно отражается на здоровье людей установлено определенно. Общество только подходит к осознанию этого явления.

Заключение

Итак, сделана попытка оценить действие промышленности и транспорта на окружающую среду. Естественно, основой аналитических материалов послужили российские технические условия, российская техника и технологии, российские принципы организации технической эксплуатации и использования автомобилей и дорог. Это сегодняшний уровень. Можно ли представить себе другие ситуации? Конечно, можно. Такой же анализ возможен для Германии, Японии, США и других стран, где действует другой образ мышления или, как принято говорить, менталитет, используются другие принципы и технологии создания машин, сооружений, организации производства и применения техники.

Неизменным будет одно: будет существовать жизненный цикл машины, сооружения и будет существовать взаимодействие промышленности и транспорта с окружающей средой.

Другой будет мера промышленно-транспортного воздействия на окружающую среду, будут отличаться и последствия этого воздействия. Если мера воздействия единичного объекта (автомобиля) будет зависеть от состояния науки, используемых технологий получения энергии, материалов, топлив, то последствия зависят от степени концентрации машин и плотности дорожной сети, а это и размеры государства, и климатические условия, и демографические характеристики.

В конечном счете есть еще одно важное обстоятельство, точнее, качество рассматриваемого круга вопросов. Все взаимодействия с той или иной интенсивностью будут происходить и происходят на нашей планете. Только Земля служит стоком для промышленно-транспортных загрязнений. Отсюда, пожалуй, можно сделать два вывода.

Первый касается национальной техники и технологий. Необходимо стремиться к уменьшению меры воздействия единичного объекта (автомобиля или транспортного сооружения) на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла.

Второй касается интернациональных международных методов ведения хозяйства. Необходимо следить за последствиями воздействия промышленности и транспорта на окружающую среду с тем, чтобы не допустить превышения этого воздействия сверх меры и не получить глубоких локальных экологических изменений, приводящих к катастрофам, которые мы еще и не научились точно различать и оценивать их последствия сегодня, а главное — завтра.

Настоящая книга — учебник для высшей школы, главным образом, для инженера-механика автомобильного транспорта и инжене-

ра-строителя дорог. Книга дает результирующую оценку деятельности инженера, показывая степень его ответственности за воздействия на окружающую среду, в каком бы качестве он не трудился.

Состав автомобильного парка, региона, организация перевозки грузов, техническое обслуживание или ремонт машин; строительство моста, дороги, производство строительных материалов, организация движения — любая деятельность инженера приводит к воздействию на окружающую среду. Следовательно, принимая решения, следует помнить об их последствиях для природы. Помнить — это означает обеспечить будущее человека и Земли.

Список литературы

1. Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс Й. За пределами роста. — М.: Прогресс, 1994.
2. Луканин В. Н., Трофименко Ю. В. Экологически чистая автомобильная энергостановка: понятие и количественная оценка // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Автомобильный и городской транспорт. — 1994. Т. 18.
3. Небел Б. Наука об окружающей среде: как устроен мир.: В 2 т. — М.: Мир, 1993.
4. Сёров Г. П. Экологическая безопасность населения и территорий Российской Федерации и (Правовые основы, экологическое страхование и экологический аудит). — М.: Издательский центр Аквил, 1998.
5. Лапин В. Л., Мартинсен А. Г., Попов В. М. Основы экологических знаний инженера. — М.: Экология, 1996.
6. Реймерс Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник. — М.: Мысль, 1990.
7. Seiffert U., Walzer P. The Future for Automotive Technology. — London: Frances Pinter, 1984.
8. Алексеев Г. Н. Общая теплотехника. — М.: Высшая школа, 1980.
9. Хейвуд Р. У. Термодинамика неравновесных процессов. — М.: Мир, 1983.
10. Звонцов В. А. Образование загрязнений в процессах сгорания. — Луганск: Изд-во Восточноукраинского государственного университета, 1998.
11. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов / Луканин В. Н., Морозов К. А., Хачиян А. С. и др.; Под ред. В. Н. Луканина. — М.: Высшая школа, 1995.
12. Теплотехника / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер и др.; Под ред. В. Н. Луканина. — М.: Высшая школа, 1999.
13. Бабков В. Ф. Автомобильные дороги. 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1983.
14. Немчинов М. В., Шабуров С. С., Пашкин В. К. и др. Экологические проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог. В 2-х ч. / Под ред. М. В. Немчинова. — Москва-Иркутск, 1997.
15. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: В 2-х кн.: Кн. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. 2-е изд. — М.: Химия, 1995. Кн. 2. Массообменные процессы и аппараты. — М.: Химия, 1995.
16. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени. Пер. с англ. / Ред. Н. А. Чигир. — М.: Машиностроение, 1981.
17. Охрана окружающей среды в строительстве. / В. П. Журавлев и др. — М.: Изд-во АСВ, 1995. — 328 с.
18. Бабков В. Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1980.

19. *Миллер Т.* Жизнь в окружающей среде. В 3 т. Пер. с англ. / Под ред. Г. А. Ягодина. — М.: Издательская группа "Прогресс", "Пангея", 1993.
20. *Шлаин И. Б.* Разработка месторождений нерудного сырья. — М.: Недра, 1985.
21. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник в двух частях. Перев. с англ. / Ред. Колверт С., Инглунд Г. М. — М.: Металлургия, 1988.
22. *Скалкин Ф. В., Канаев А. А., Копп И. З.* Энергетика и окружающая среда. — Л.: Энергоиздат, 1981.
23. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник. 2-е изд., перераб. / Под общей ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
24. *Лукашин В. Н., Трофименко Ю. В.* Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта // Итоги науки и техники. ВИНТИ, Автомобильный транспорт. — 1996. Т. 19.
25. *Подольский В. П.* Дорожная экология. — М.: Союз, 1997.
26. Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог: ВСН 24-88 / Минавтодор РСФСР. М.: Транспорт, 1989.
27. *Mauch W.* Kumulierter Energieaufwand von Lastkraftwagen // ATZ, 1994, № 2, s. 116—124.
28. ÖKO-Bilanz eines Autolebens. / UPI-Bericht № 25. Umwelt- und Prognose-Institut Heidelberg. — Heidelberg, 1993.
29. *Михайлов А. М.* Охрана окружающей среды при разработке месторождений открытым способом. — М.: Недра, 1981.
30. *Гусев Б. В., Загурский В. А.* Вторичное использование бетонов. — М.: Стройиздат, 1988.
31. Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух. — М.: НИИАТ, 1993.
32. Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzenfahrzeugen in der BRD für das Bezugsjahr 1990 / D. Hassel, P. Jost, F. J. Weber, F. Dursbeck, K. S. Sonnborn // TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, VFO PLAN 10405151/02 — Berlin: Erich Schmidt, 1995.
33. Abgas-Emissionsfaktoren von Pkw in der Bundesrepublik Deutschland. Abgasemissionen von Fahrzeugen der Baujahre 1986 bis 1990 / D. Hassel, P. Jost, F. J. Weber, F. Dursbeck, K. S. Sonnborn, D. Plettau // TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, VFO PLAN 10405152 und 10405509. — Berlin: Erich Schmidt, 1994.
34. *Koji Tsunokawa, Christopher Hoban.* Roads and the Environment. 1997. P. 83, 108.
35. *Евгеньев И. Е., Каримов Б. Б.* Автомобильные дороги в окружающей среде. — М.: ООО "Трансдорнаука", 1997.
36. Альбом сооружений на автомобильных дорогах для защиты окружающей среды от транспортных загрязнений. / СоюздорНИИ. — Балашиха, 1996.
37. *Кавтарадзе Д. Н., Николаева Л. Ф., Поршнев Е. Б., Фролова Н. Б.* Автомобильные дороги в экосистемах (проблемы взаимодействия). — М.: Че Ро, 1999.
38. Прогноз воздействия транспорта на популяции гнездящихся видов птиц / Райне М., Вейнбас Г., Фоппе Р. — Москва, 1998.
39. *Быков А. А.* Моделирование природоохранной деятельности. — М.: Изд-во НУМЦ Госкомэкологии России, 1998.
40. *Bormann F. N.* The effects of air pollution on the New England landscape // Ambio. 1982. Vol. 11. № 6. P. 338—346.

41. Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). — Екатеринбург: УИФ "Наука", 1994.
42. Мазур И. И., Молдаванов О. И., Шишов В. Н. Инженерная экология. Общий курс. В 2-х т. / Под ред. И. И. Мазура. — М.: Высшая школа, 1996. Т. 2. Справочное пособие.
43. Экологический программный комплекс для персональных ЭВМ / Под ред. А. С. Гаврилова. — СПб.: Гидрометеониздат, 1992.
44. Сильянов В. В., Еремин В. М., Муравьева Л. И. Имитационное моделирование транспортных потоков в проектировании дорог. М.: МАДИ, 1981.
45. Луканин В. Н., Буслаев А. П., Трофименко Ю. В., Яшина М. В. Автотранспортные потоки и окружающая среда / Под ред. В. Н. Луканина — М.: ИНФРА-М, 1998.
46. Подольский В. П., Артюхов В. Г., Турбин В. С., Канищев А. Н. Автотранспортное загрязнение придорожных территорий. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999.
47. Акимова Т. А., Хаскин В. В. Экология. — М.: Юнити. 1998.
48. Протасов В. Ф., Молчанов А. В. Экология, здоровье и природопользование в России. — М.: Финансы и статистика, 1995. С. 373—393.

Предметный указатель

- Абиотические факторы 13
Абсорбция
— физическая 59
— хемисорбция 59
Автоматизированные системы управления движением 184
Автомобильный парк 174, 186
Автобус 127
Автомобиль
— легковой 107, 225
— грузовой 107, 225
Автотранспортное средство (АТС) 23
Адсорбция
— физическая 60
— химическая 60
Акустическая мощность 74
Акустическое излучение 75
Антропоцентризм 6
Аппарат для очистки воздуха гидравлический 105
Атмосфера 9, 197
Аэротенки 156

Баланс
— акустический 76
— материальный 35
— тепловой (энергетический) 33
— экологический 85, 166, 168
— эксергетический 34
Безотходное производство 166
Биоаккумуляция загрязнений 207
Биогеоценоз 13
Биоконцентрация 207
Биомат 146
Биосфера 13
Биота 13
Биотекстиль 146

Валовые выбросы вредных веществ 167, 178, 180, 186, 252
Ветровые наносы 132
Вибрация 77, 227
Виброакустическое излучение 28
Виды воздействия промышленности и транспорта на окружающую среду
— загрязнение 25, 84, 174, 247
— потребление (истощение) природных ресурсов 21, 86, 113, 181
— изменение ландшафта и параметров окружающей среды 24, 82, 202, 221, 250
— истощение (отравление) генофонда видов и популяций 21, 208, 214
Виды моторных топлив
— бензин 35, 38
— дизельное топливо 35, 38
— диметилэфир 35, 38, 140, 141
— мазут 35, 38
— метанол 35, 38
— нефтяной газ 35, 38, 99
— природный газ 35, 38, 99
Влияние на уровень загрязнения
— вида топлива 141
— качеств топлив 138
— параметров конструкции дороги 114
Выбросы вредных веществ
— в ездовых циклах 129, 255
— в режиме замедления (торможения) 128
— в режиме ускорения (разгона) 128
— в режиме холостого хода двигателя 127
— в узлах (на перекрестках) 175, 252, 255
— погонные (на перегонах) 174, 252, 255
— при движении с постоянной скоростью 127
— пробеговые 124

Габионы 145
Геосинтетические материалы 117, 118
Гидросфера 9, 205
Глушитель
— абсорбционный 142
— комбинированный 142
— реактивный 142
Горение
— гомогенное 39
— гетерогенное 39
Горная порода 87

Диффузия 50
Диффузионное испарение 50
Дорога 10, 24
Дорожная сеть 180

Жидкостная экстракция 62
Жизненный цикл объекта транспорта 10

Зависимость «доза—эффект» 208

Загрязнение

- аварийное 189
- биоценоотическое 17
- ингредиентное 15
- ландшафтное 15, 82
- параметрическое 15, 73
- технологическое 173
- транспортное 114, 173
- эстетическое 84

Захоронение отходов на свалках 164

Защита поверхностного стока 123

Зона

- влияния дороги на окружающую среду 181
- экологического бедствия 220

Изменение

- концентрации озона в стратосфере и тропосфере 197
- концентрации парниковых газов в атмосфере 198

Износ

- усталостный 52
- абразивный 52

Ионизирующее излучение 79

Ионный обмен 60

Индекс репродукции 183

Испарение 49

Источники загрязнения при

- восстановлении работоспособности объектов 147, 148, 151, 153
- изготовлении (строительство) объектов 108, 112
- использовании объектов 124, 131, 132, 133, 134
- переработке сырья 91, 92, 94, 96, 97, 99, 100, 102
- утилизации объектов 159, 166

Каталитическая нейтрализация 69, 139

Кислотные осадки (атмосферно-гидросферное закисление) 17, 206

Климатические изменения 17, 198

Консументы 14

Коэффициент

- акустического излучения 75
- диффузии 50

Красная зона ландшафта 83

Кристаллизация 64

Латентный период 210

Литосфера 9, 205

Локальная экологическая катастрофа 220

Массообмен через полупроницаемые мембраны 67

Мера (норма) экосистемы 218

Мероприятия по снижению воздействия на среду парка и дорожной сети

- оптимизация структуры и численности парка 186
- упорядочение режима движения 178, 184

— формирование искусственных экосистем 188

Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду объектов и технологий

- закрытые схемы переработки природных ресурсов 89
- использование новых рабочих процессов, технологий, видов энергоресурсов, материалов 116, 117, 141, 158, 163, 166
- использование очистных устройств 105, 123, 139, 155, 156

— подавление или локализация источников параметрического загрязнения 117, 119, 122, 142

— повышение энергетической и экологической эффективности установок, машин 103, 138, 140

— ужесточение экологических нормативов 137

— усиление защитных свойств природных ландшафтов 144

— соблюдение регламентов обслуживания сооружений, установок, машин и механизмов 103, 104, 105, 144, 153

Метод экстремального озеленения 146

Методы борьбы с зимней скользкостью 53, 133

Методы газового анализа

- абсорбционный метод спектрального анализа 233
- гравиметрический 236
- лазерно-локационный 238
- пламенно-ионизационный 235
- хемилюминесцентный 235
- хроматографический 237
- электрохимический 234

Методы оценки загрязнения

- водной среды 239
- газовых потоков 232
- почв, грунтов 239
- растительности 239

Методы очистки сточных вод

- биологические 155
- в поле действия центробежных сил 155
- отстаивание 155
- процеживание 155
- фильтрование 155
- электрохимическая очистка 72

Механизм образования токсичных и вредных веществ

- диоксида углерода 45
- монооксида углерода 44
- оксидов азота 47
- оксидов серы 47
- пероксиацетилнитрата 201
- сажи 46
- серной кислоты 201
- соединений свинца 47
- твердых частиц 46
- тропосферного озона 201
- углеводородов 46

Механизм разрушения озона в стратосфере 198

Механические обеспыливающие устройства 105

Механическое подметание 157

Минералооборот 86

Модели расчета

— турбулентной диффузии 252, 258

— характеристик транспортных потоков 253

Мойка дорожной одежды 157

Мониторинг промышленно-транспортных объектов и окружающей среды 231

Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля 78

Нейтрализатор

— абсорбционно-каталитический 70

— окислительный каталитический 69, 138

— окислительно-восстановительный каталитический 69, 139

— термический 68

Нейтрализация

— отработавших газов двигателей с искровым зажиганием 69

— отработавших газов дизелей 70

— сточных вод 72

Нормирование

— санитарно-гигиеническое 222

— экологическое 221

— экологических параметров объектов 224

Объем потребления топлива парком машин 180

Объекты транспорта 10

Окружающая среда 9

Окситенки 156

Острова теплоты 204

Отчуждение (изъятие) площадей территорий 229

Отходы промышленно-транспортной деятельности

— жидкие 54

— твердые 55

Оценка воздействия промышленности и транспорта на окружающую среду

— расчетная 251

— экспериментальная 246

Параметры состояния окружающей среды 14

Парниковый эффект 198

Перегонка жидкостей 62

Переработка отходов

— на полигонах 164

— термическая 165

Плотность потока энергии электромагнитного поля 78

Площадь территории для единицы подвижного состава 182

Повторное использование материалов 159

Показатели нормирования воздействия на среду

— общесанитарный 223

— органолептический 223

— предельно допустимые выбросы 222

— предельно допустимые концентрации 222

— токсикологический 223

Получение (добыча) минеральных и энергетических ресурсов

— поверхностная 87

— подземная 87

Пост контроля промышленно-транспортного загрязнения окружающей среды

— стационарный 240

— передвижной 241

Потоки энергии и вещества (материалов)

— в жизненном цикле объекта 26

— в планетарной экосистеме 13

— при утилизации объектов 160

Потребление кислорода воздуха 175, 256

Почва 131

Природоёмкость территории 219

Продукенты 14

Производство

— дорожно-строительных материалов 100

— моторных топлив и масел 97

— резинотехнических изделий 96

— цветных металлов и сплавов 94

— черных металлов 91

Процессы разделения и связывания неоднородных сред 56

Распространение и трансформация загрязнений 193

Растворение 63

Расход

— масла на угар 130

— топлива 129, 171, 175, 180

Реакция на промышленно-транспортные загрязнения

— человеческого организма 207

— экосистем 215

Редуценты 14

Репродуктивная способность территории

— по водным поверхностным ресурсам 183

— по кислороду 182

— почвенно-растительного покрова 183

— растительного покрова (сельскохозяйственных культур) 183

Рециклинг

— горячий 159

— холодный 158

Рециркуляция отработавших газов 138

Риск

— загрязнения окружающей среды 189

— техногенный 190

Руда 87

Сажа 42, 46

Самоочищение атмосферы

- нейтрализация 196
- поглощение 196
- седиментация 196
- Светоформное регулирование дорожного движения по экологическим критериям 185
- Сеть мониторинга загрязнения атмосферного воздуха 241
- Система добычи и переработки полезных ископаемых
 - закрытая 89
 - открытая 89
 - полукоткрытая 89
- Смет 13, 53
- Состав отработавших газов двигателей 44
- Спектр шума 75
- Стадии трансформации экосистем
 - выпадение чувствительных видов 216
 - полное разрушение 217
 - структурная перестройка 216
 - частичное разрушение 216
- Структура парка машин 186
- Сукцессия техногенная 217
- Сушка 66

- Твердые частицы 46
- Температурная инверсия 195
- Теория естественной биотической регуляции 5
- Тепловые аномалии 202
- Термогазодинамические процессы 29
- Термореактор-двигатель 68
- Токсическое действие транспортных загрязнений на биоту
 - вибрация 213
 - инфразвук 213
 - монооксид углерода 211
 - озон 212, 215
 - оксиды азота 211, 215
 - оксиды серы 212, 216
 - сажа 212
 - углеводороды 212
 - шум 213
 - электромагнитное поле 214, 216
- Транспортная емкость территории 182
- Транспортный комплекс 9
- Транспортный поток как источник загрязнения среды 174

- Уничтожение
 - генофонда живых организмов 136
 - памятников архитектуры 25
- Уровень
 - автомобилизации 182
 - комфорта 228
- Устойчивое развитие
 - общества 6
 - транспортной системы 20

- Факторы влияния на распространение загрязнений
 - природно-климатические 194
 - техногенные 194

- Фильтры
 - пористые 105
 - улавливания дисперсных частиц в отработавших газах 139
- Флотация 61
- Фрагментация ландшафта 82
- Фрикционные материалы 53
- Фотохимический смог 201

- Хлорфторуглероды 197

- Чрезвычайная экологическая ситуация 220

- Шум 73
- Шумозащитные сооружения (экраны) 119, 143
- Шумомеры 238

- Эвтрофикация 205
- Эколандшафтные мероприятия
 - ландшафтовосстанавливающие 145
 - ландшафтосберегающие 145
 - ландшафтоформирующие 145
 - озеленение 117, 122, 144, 188
- Экологическая
 - авария на объекте 189
 - безопасность территории 218
 - емкость компонентов среды 219
 - объектов промышленности и транспорта 14, 18
 - технотемкость территории 219
 - чистота объектов промышленности и транспорта 14
- Экологический кризис 17
- Экология 9
 - промышленно-транспортная 9
- Экосистема 13
 - искусственная на придорожных территориях 188
- Экстрагирование 63
- Эксергия (техническая работоспособность) 33
- Электромагнитное излучение 78
- Электрофильтр 105
- Энтропия 30
- Этапы жизненного цикла объекта
 - восстановление работоспособности 10, 147
 - использование 10, 124
 - производство 10, 107
 - поставка, транспортировка, хранение 11
 - создание 10
 - утилизация 10, 159
- Эффект воздействия загрязнителей
 - антогонистический 215
 - беспороговый 210
 - пороговый 210
 - абсолютный 209
 - практический 208
 - синергический эффект 215
 - со специфическим действием 211
 - с хроническим провоцирующим влиянием 211

Оглавление

Предисловие	3
Введение	5
Г л а в а 1. Предмет промышленно-транспортной экологии	9
1.1. Основные понятия, термины, определения	9
1.2. Воздействие промышленности и транспорта на окружающую природную среду (общие положения)	21
Г л а в а 2. Физико-химические процессы при воздействии промышленности и транспорта на окружающую среду	28
2.1. Термодинамические основания взаимодействия тепловой машины с окружающей средой	29
2.2. Реакции горения углеводородных топлив	35
2.2.1. Материальные балансы при сжигании топлив	35
2.2.2. Механизмы горения углеводородных топлив	39
2.2.3. Образование токсичных веществ при горении	42
2.3. Испарение топлива, других эксплуатационных материалов	49
2.4. Износ поверхностей	51
2.5. Отходы промышленно-транспортной деятельности	53
2.6. Другие физико-химические процессы, возникающие при осуществлении жизненных циклов объектов транспорта	55
2.6.1. Процессы разделения и связывания неоднородных сред	56
2.6.2. Процессы нейтрализации и электрохимической очистки	68
2.7. Параметрические (энергетические) процессы	73
2.7.1. Шум	73
2.7.2. Вибрация	77
2.7.3. Электромагнитное излучение	78
2.7.4. Ионизирующее излучение	79
2.8. Ландшафтные нарушения	82

Глава 3. Воздействие на окружающую среду промышленных и транспортных объектов и технологий	85
3.1. Получение минеральных и энергетических ресурсов	86
3.1.1. Источники воздействия на окружающую среду	87
3.1.2. Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду при получении ресурсов	89
3.2. Переработка сырья — производство конструкционных, эксплуатационных и дорожно-строительных материалов	91
3.2.1. Технологические процессы переработки сырья как источники воздействия на окружающую среду	91
3.2.2. Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду при производстве материалов	103
3.3. Изготовление (строительство) транспортных средств и инженерных сооружений	107
3.3.1. Источники загрязнения окружающей среды при изготовлении транспортных объектов	107
3.3.2. Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду при производстве (изготовлении) транспортных объектов	116
3.4. Использование (эксплуатация) транспортных средств и участка дороги	124
3.4.1. Загрязнение окружающей среды при выполнении транспортной работы и эксплуатации дороги	124
3.4.2. Мероприятия по снижению загрязнения окружающей среды при осуществлении перевозочного процесса	137
3.5. Восстановление работоспособности (техническое обслуживание, ремонт) объектов транспорта	147
3.5.1. Источники загрязнения окружающей среды при обслуживании и ремонте объектов транспорта	147
3.5.2. Мероприятия по снижению загрязнения окружающей среды при обслуживании и ремонте транспортных объектов	153
3.6. Утилизация транспортных средств, дорожно-строительных конструкций, захоронение отходов	159
3.7. Экологический баланс транспортного средства в жизненном цикле	166
Глава 4. Воздействие на окружающую среду парка машин и дорожной сети	173
4.1. Автотранспортные потоки. Множество машин (автомобильный парк)	174
4.1.1. Выбросы вредных веществ, расход топлива, шум транспортного потока	174
4.1.2. Выбросы вредных веществ, потребление ресурсов парком машин	178
4.2. Дорожная сеть	180
4.3. Мероприятия по снижению воздействия на среду совокупности машин и дорожной сети	184
4.4. Возможности развития аварийных ситуаций, связанных с транспортной деятельностью	188
Глава 5. Промышленные и транспортные объекты в экосистемах	193
5.1. Распространение и трансформация промышленно-транспортных загрязнений в окружающей среде	193

5.1.1. Факторы, влияющие на распространение загрязнений	194
5.1.2. Механизмы трансформации загрязнений в окружающей среде	196
5.2. Последствия воздействия загрязнителей на человека, животных и растительность	207
5.2.1. Реакция человеческого организма на промышленно-транспортные загрязнения	207
5.2.2. Реакция экосистем на промышленно-транспортные загрязнения . .	215
5.2.3. Понятие локальной экологической катастрофы	218
5.3. Нормирование промышленно-транспортного воздействия	222
5.3.1. Санитарно-гигиенические и экологические нормативы	222
5.3.2. Нормирование экологических параметров транспортных средств .	224
5.3.3. Нормирование экологических параметров дорожно-строительной техники и инженерных объектов	228
Глава 6. Методы и результаты оценки воздействия промышленности и транспорта на окружающую среду	231
6.1. Методы измерения параметров состояния окружающей среды и экологических показателей транспортных объектов	232
6.1.1. Методы оценки загрязнения газовых потоков	232
6.1.2. Методы оценки параметрических загрязнений.	238
6.1.3. Методы оценки загрязнения водной среды, почв, грунтов и растительности	239
6.2. Стационарные и передвижные посты контроля транспортного загрязнения окружающей среды	240
6.3. Результаты оценки транспортного загрязнения окружающей среды вблизи автомагистрали и на территории крупного города	245
6.3.1. Экспериментальные оценки	246
6.3.2. Расчетные оценки воздействия транспорта на окружающую среду на урбанизированных территориях	251
Заключение	262
Список литературы	264
Предметный указатель	267

Учебное издание

**Луканни Валентин Николаевич
Трофименко Юрий Васильевич**

ПРОМЫШЛЕННО-ТРАНСПОРТНАЯ ЭКОЛОГИЯ

**Редактор В.Н. Бораненкова
Художник В.А. Дмитриев
Художественный редактор Ю.Э. Иванова
Технические редакторы Л.А. Овчинникова, Н.В. Быкова
Корректоры О.Н. Шебашова, Г.Н. Петрова
Набор и компьютерная верстка Ю.А. Кунашовой**

Лицензия ИД № 06236 от 09.11.01.

Изд. Х/Е-234. Подп. в печать 14.08.03.

Формат 60×88¹/₁₆. Бум. офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.
Объем 18,13 усл. печ. л. + 0,25 усл. печ. л. форз. + 0,5 усл. печ. л. вклейка; 20,9 усл.
кр.-отт. 16,73 уч.-изд. л. + 0,45 уч.-изд. л. форз. + 0,45 уч.-изд. л. вклейка.
Тираж 4000 экз. Зак. № 3205

ФГУП «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., 29/14.

Тел.: (095) 200-04-56

E-mail: info@v-shkola.ru <http://www.v-shkola.ru>

Отдел реализации: (095) 200-07-69, 200-59-39, факс: (095) 200-03-01.

E-mail: sales@v-shkola.ru

Отдел «Книга-почтой»: (095) 200-33-36.

E-mail: bookpost@v-shkola.ru

Набрано на персональных компьютерах издательства

Отпечатано в ФГУП ордена «Знак Почета»
Смоленской областной типографии им. В.И. Смирнова.
214000, г. Смоленск, пр-т им. Ю. Гагарина, 2..