

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК

УДК 338.47

№ гос.рег. АААА-А17-117041850231-7

УТВЕРЖДАЮ

Председатель СПбНЦ РАН
академик



Ж. И. Алферов

ОТЧЕТ

о научно-исследовательской работе

**«Разработка функциональной модели, структуры и блок-схемы
комплексной схемы управления транспортными потоками
большого города по экологическим показателям»
(тема № 0240-2015-0001)**

Этап 2017 года

Научный руководитель
д.т.н., проф.


О. В. Белый

Санкт-Петербург

2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

д.т.н., проф.


О.В. Белый (реферат, введение, заключение)

Ответственные исполнители:

к.т.н., доцент, в.н.с.

 Л.Д. Баринаева (введение, 3, заключение)

к.ф.-м.н., доцент, в.н.с.

 Л.Э. Забалканская (1,2)

РЕФЕРАТ

Отчет 1 книга, 46 стр., 6 таб., 5 рис., библиограф.- 51 наим.

СКОРОСТНОЙ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Скоростные системы общественного транспорта общего пользования и их воздействие на социально-экономическую и природную городскую среду рассматриваются в качестве объекта исследования.

Цель научного исследования – формирование комплексного подхода к созданию городской транспортной системы на основе приоритетного развития общественного транспорта, интегрированной в городскую среду и обеспечивающую комфортные перевозки пассажиров и интермодальные связи.

Актуальность исследования. Экологически устойчивое развитие городской транспортной системы является одним из основополагающих условий экологически устойчивого развития крупных городов. На современном этапе удовлетворение транспортных потребностей экономики и общества невозможно без организации скоростного пассажирского сообщения как внутри города, так и между центральной частью городской агломерации и её пригородами. При этом минимизация техногенной нагрузки от транспорта на городскую среду и здоровье человека является основополагающим принципом экологической устойчивости транспортной системы.

В настоящем отчёте рассмотрены наиболее характерные негативные явления, связанные с работой транспорта в большом городе и определены их источники, а также приведены сравнительные данные по преимуществам использования различных видов общественного транспорта с учетом зарубежного опыта.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Основные цели и задачи экологически устойчивого развития транспортных систем, соответствующие основным мировым трендам развития городского транспорта.....	6
2 Анализ международного опыта устойчивого развития скоростных транспортных систем городского пассажирского транспорта общего пользования.....	8
3 Анализ основных видов негативного воздействия транспорта на городскую среду и здоровье человека.....	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А Список публикаций по теме.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование городской транспортной системы является необходимым условием обеспечения экономической активности и удовлетворения социальных потребностей городского населения. Транспортные потоки оказывают существенное влияние на все стороны жизни города, в том числе существенное негативное воздействие на состояние городской среды, а, следовательно, и на качество жизни в мегаполисе.

Развитие системы общественного транспорта в крупных мегаполисах позволит улучшить городскую среду обитания, повысить мобильность населения, экономическую активность, снизить социальную напряженность и улучшить экологическую обстановку. По данному пути развития идут многие европейские и азиатские страны. Для крупных городов России именно он является наиболее приемлемым, поскольку эти города строились в расчёте на удовлетворение транспортных потребностей городским транспортом общего пользования. Во многих крупных городах имеется метрополитен, в городах с населением более миллиона человек были построены трамвайные сети. В результате резко возросшей автомобилизации в нашей стране были смещены приоритеты в сторону стимулирования развития личного транспорта и приведены в упадок исторически сложившиеся виды общественного. Так, например, было ликвидировано значительное количество трамвайных маршрутов с уничтожением трамвайных путей. Значительно снизилось количество автобусных и троллейбусных маршрутов, обслуживаемых подвижным составом большой вместимостью, которые были заменены хаотичным развитием движения маршрутных такси. Реалии сегодняшнего дня говорят о необходимости делать упор именно на развитие новых систем общественного транспорта на основе модернизации уже существующих. Это касается не только подвижного состава, но и других компонентов городской транспортной системы, начиная с модернизации подвижных путей с применением новых материалов и современных технологий до использования различных видов энергии для транспорта,

В представленном отчёте будут описаны основные мировые тренды развития городских транспортных систем, а также проанализирован мировой опыт экологически устойчивого развития скоростного городского транспорта общего пользования, как основного тренда. Также будут проанализированы основные факторы негативного воздействия транспортной деятельности на городскую среду и здоровье человека.

1 Основные цели и задачи экологически устойчивого развития транспортных систем, соответствующие основным мировым трендам развития городского транспорта

В 2000 году на совещании министров транспорта ЕЭК ООН, по итогам которого была сформулирована «Устойчивая транспортная политика» «свободное» движение автотранспорта в городах отнесено к «нереалистическим ожиданиям», поскольку рост автомобилизации населения приводит к тому, что соответствующее данному уровню автомобилизации развитие УДС сталкивается с естественными пространственными ограничениями.

В 2014 году на четвёртом Совещании высокого уровня по транспорту, окружающей среде и охране здоровья под эгидой Европейской программы по транспорту, охране здоровья и окружающей среде (ОПТОСОЗ) принята Парижская декларация «Город в движении: в первую очередь люди», «развивающая четыре приоритетных цели, изложенные в Амстердамской декларации от 2009 года:

- содействовать устойчивому экономическому развитию и созданию новых рабочих мест путем инвестиций в транспорт, благоприятный для окружающей среды и здоровья
- обеспечивать экологически устойчивую мобильность и содействовать развитию более эффективных транспортных систем
- снижать выбросы парниковых газов и атмосферных загрязнителей транспортного происхождения, а также уровни транспортного шума
- содействовать внедрению стратегий и реализации мер, направленных на обеспечение здорового и безопасного транспорта»; и утверждающая «новую пятую приоритетную цель:
 - интегрировать цели в областях транспорта, охраны здоровья и окружающей среды в политику городского развития и территориально-пространственного планирования».[1]

. Делая акцент, прежде всего на экологический аспект устойчивого развития можно констатировать, что основными целями управления экологически устойчивым развитием транспорта, которые можно назвать базовыми ориентирами являются [2]:

- сохранение качества городской среды;
- сохранение ресурсного потенциала;
- обеспечение справедливого распределения положительных и отрицательных эффектов деятельности транспорта

Базовые ориентиры, а также цели управления транспортными потоками с точки зрения заявленных ориентиров приведены на рис.1.1. Верхняя область соответствует экологическим аспектам устойчивого развития, правая - эколого - экономическим аспектам, а левая – эколого - социальным.



Рисунок 1.1

Снижение воздействия на человека можно рассматривать не только как снижение воздействия на здоровье человека негативных факторов, связанных с функционированием транспорта, но и как обеспечение безопасности передвижения, т.е. в более широком смысле. Таким образом, устанавливая в качестве цели управления снижение техногенной нагрузки, следует иметь в виду как снижение нагрузки на городскую среду, так и снижение нагрузки на человека в широком понимании.

Следует особо подчеркнуть, что снижение воздействия на городскую среду обеспечивает выгоды как для экологической, так и для социальной сфер, но при этом опосредованно влияет и на экономическую сферу.

2 Анализ международного опыта устойчивого развития скоростных транспортных систем городского пассажирского транспорта общего пользования

На нынешнем этапе развития отличительной чертой мобильности населения в большинстве крупных городов России и мира являются большие объемы маятниковых передвижений, совершаемые в так называемые «часы пик», поскольку центральные части городов являются основными центрами деловой активности. Одним из важнейших факторов, снижающих техногенную нагрузку транспортной деятельности на окружающую среду, является уменьшение пробега личного автотранспорта, поскольку по удельным показателям он наименее эффективно использует ресурсы, в том числе и пространственные, а также лидирует по уровню удельных выбросов, причём это относится не только непосредственно к процессу движения, но и ко всему жизненному циклу автомобиля и потребляемого им топлива.

Снижению интенсивности воздействия транспортных потоков на городскую среду способствует одновременная реализация мер по *стимулированию использования общественного транспорта и дестимулированию использования автомобиля*, эти меры могут быть экономическими, техническими и технологическими, а также информационно-мотивационными. Прежде всего, необходимо обратить внимание на то, что передвижение на общественном транспорте должно предоставлять преимущества по сравнению и индивидуальным автотранспортом, а значит, следует развивать внутригородские скоростные системы пассажирского сообщения, а также скоростной транспорт, осуществляющий связь города и территорий, тяготеющих к нему.

Перераспределение некоторой части пассажиропотока с личного автотранспорта на транспорт общего пользования (ОТ) возможно лишь в том случае, если поездка будет дешевле, быстрее и не слишком менее комфортной. Количество пассажиров в транспортном средстве по сравнению с максимально возможным является существенным фактором обеспечения экономической и эколого-экономической эффективности транспортной деятельности. С этой точки зрения, наполняемость транспортных средств до 95%, снижает комфортность поездки, что также может отпугнуть некоторую часть пассажиров. Необходимо спланировать транспортное обслуживание таким образом, чтобы поддерживать баланс между удобством (во всех отношениях) поездки и её эффективностью с точки зрения использования ресурсов, в том числе и

пространственных. Этому аспекту необходимо уделять особое внимание, когда речь идёт об обслуживании больших и устойчивых пассажиропотоков.

Обеспечение более высокой скорости передвижения ОТ по сравнению с личным автотранспортом – основной стимул для перераспределения пассажиропотока. На направлениях наиболее высокой интенсивности потоков необходимо обеспечить обслуживание теми видами транспорта, которые имеют выделенные транспортные коммуникации ROW (Right-of-Way) –А или ROW – В. ROW – А – это те виды транспорта, которые имеют собственную инфраструктуру. Скорость передвижения транспорта данной категории определяется только его собственными технологическими параметрами, учитывающими, в том числе, и требования безопасности. Примерами таких систем в России является метро, пригородные электрички и монорельсовый транспорт. Системы монорельсового транспорта, существующие на настоящее время в крупных российских городах, не обслуживают существенные пассажиропотоки. ROW – В предполагает частично выделенную инфраструктуру, имеющую пересечения с общегородской системой транспортных коммуникаций (трамвайная сеть скоростного трамвая LRT или автобусные и троллейбусные маршруты BRT, на выделенной для их передвижения инфраструктуре). Скорость движения, провозная способность и, что гораздо важнее для пассажира, продолжительность поездки и её безопасность существенным образом зависят, прежде всего, от степени обособления полос движения, но также и от конструкции транспортных средств и остановочных пунктов, систем управления движением и обеспечения оплаты проезда.

Рассматривая систему скоростного общественного транспорта с точки зрения экологической устойчивости, для обеспечения эффективности использования ресурсов и снижения вредных выбросов большое значение имеет конструкция и наполняемость подвижного состава, используемые транспортные коммуникации, а также равномерность движения транспортных средств (особенно это касается автотранспорта). Замедление движение транспортных средств в общем потоке (движение в режиме «старт-стоп») увеличивает расход энергии или моторного топлива, а значит и соответствующие выбросы, а также выбросы, связанные с преодолением силы трения. Кроме того, такой способ передвижения не обеспечивает пассажирам преимуществ перед водителями личного автотранспорта и может негативным образом влиять на наполняемость ОТ.

Поэтому обслуживание больших устойчивых пассажиропотоков требует выделения собственных транспортных коммуникаций с максимально возможной степенью обособления. В этом случае становится возможным обеспечить строгое соблюдение

расписания, что является существенным фактором для привлечения дополнительного пассажиропотока, поскольку время поездки становится более предсказуемым. Выделенные транспортные коммуникации позволяют организовать движение с минимальными интервалами и значительными скоростями безопасно для других участников движения и пешеходов. Соблюдение расписания и приоритетный проезд пересечений являются существенными факторами обеспечения безопасности поездки.

Выделение полос для движения автотранспорта, или трамваев, может быть произведено с помощью разметки. Однако это не препятствует въезду на эти полосы другим транспортным средствам, а, следовательно, будет действенным только при условии строгого соблюдения правил уличного движения всеми его участниками, что в России является мало реальной перспективой. Отметим также и большое количество индивидуальных транспортных средств, обладающих правом приоритетного проезда, что особенно актуально для Москвы и Санкт-Петербурга. Более действенным способом обособления служит создание физических барьеров, препятствующих выезду на эти полосы транспортным средствам, движение которых там не предусмотрено. В случае ROW-A полное обособление полос движения предусматривает также строительство тоннелей и эстакад для обеспечения развязок с другими транспортными коммуникациями на разных уровнях.

Расстояние между остановочными пунктами, а, следовательно, и их количество на маршруте не может быть фиксированным. Оно должно зависеть от территорий, по которым проходят различные части маршрутов - в районе плотной застройки с большим количеством полюсов притяжения пассажиропотоков, остановки должны происходить чаще, а на пригородных территориях малоэтажного строительства остановки следует делать реже. Для обеспечения доступности остановочных пунктов для жителей таких территорий необходимо применять подвозящие транспортные средства меньшей вместимости, расписание которых согласовано с расписанием движения скоростных транспортных систем. Так, например, в Лос-Анджелесе сокращение времени поездки в часы «пик» составило 28%, из которых только одна треть приходится на сокращение времени в результате введения приоритетного проезда, а остальное время было сэкономлено за счёт оптимизации размещения остановочных пунктов. Выделенные полосы могут прокладываться как в центре проезжей части, так и по её краям. В этом случае подвижной состав может иметь двери с разных сторон, что в случае трамвая-челнока отменяет необходимость разворотного кольца.

Организация движения скоростного пассажирского транспорта требует не только выделения полос, но и применения систем управления движением. Интеллектуальные системы помощи водителю позволяют обеспечить соблюдение расписания, что важно для привлечения пассажиров, а также применять эковождение, т.е. управлять движением транспортного средства наиболее энергоэкономичным образом. В случае наличия пересечений с городской транспортной инфраструктурой необходимо обеспечить приоритетность проезда, что предполагает управление светофорами. Предоставление жителям городских агломераций данных о движении транспорта в реальном времени, что важно для привлечения большего пассажиропотока, невозможно без использования современных интеллектуальных систем геолокации и управления движением. Кроме того, для сокращения времени, проведённого транспортными средствами на остановках, необходимо использовать соответствующие конструкции остановочных пунктов, транспортных средств и средств оплаты проезда.

Рассмотрим более подробно основные виды скоростного пассажирского транспорта общего пользования и опыт его эксплуатации в крупных городах мира.

BRT (Bus Rapid Transit) – система обслуживания пассажиропотоков, основанная на использовании автобусов (троллейбусов или электробусов), передвигающихся по выделенным путям. В мировой практике, в основном, BRT маршруты имеют категорию В. Как уже сказано выше, выделение полос для движения может происходить разными способами, что существенно влияет на скорость движения и пропускную способность, что иллюстрирует Таблицы 2.1 [3]

Таблица 2.1 Диапазоны средних скоростей движения автобусов на полосах различного типа (при максимально допустимой скорости 80 км/ч)

Тип полосы движения	Диапазон средних скоростей, км/ч
Выделенные скоростные полосы	26-74
Выделенные полосы на УДС	6,4-40
Полосы общего пользования	4,8-18

Очевидно, что скорость движения по полосе общего пользования определяется скоростью движения потока, а она в крупных городах в «пиковые» часы очень мала, но даже при движении на выделенной полосе УДС средняя скорость может быть существенно больше, чем общая скорость потока.

Как правило, BRT системы скоростного общественного транспорта создаются в тех городах, где существуют большие пассажиропотоки, но нет возможности обслуживать

их с помощью рельсового транспорта (капитальные вложения в рельсовую инфраструктуру существенно больше).

В городе Богота (Колумбия) 10% пассажиров BRT системы TransMilenio до её создания передвигались на личном автотранспорте, остальные пользовались обычными автобусами или микроавтобусами. Проведённые исследования показывают, что эффективность потребления энергоносителей у TransMilenio значительно выше, чем у остального автотранспорта общего пользования, поскольку потребление топлива на км сравнимо с потреблением топлива обычным автобусом с карбюраторным двигателем, при этом количество перевозимых пассажиров существенно больше. Это также означает, что удельные выбросы (на пассажиро-км) также существенно ниже (таблица 2.2)

Таблица 2.2 Эффективность потребления топлива различными видами автотранспорта общего пользования в Боготе

Виды автотранспорта	Максимальное количество пассажиров	Потребление топлива (литр/км)	Число перевозимых пассажиров одним транспортным средством на км
TransMilenio	160	1,56	5,2
Автобус с дизельным ДВС	70-80	2,14	1,00-2,27
Автобус с карбюраторным ДВС	70-80	1,53	1,00-2,27
Микроавтобус с дизельным ДВС	13-19	5,54	0,60-1,44
Микроавтобус с карбюраторным ДВС	13-19	3,43	0,60-1,44

Подобные системы существуют Куритибе, Сан-Паулу (Бразилия), Кито (Эквадор), Анкаре, Стамбуле (Турция), Брисбене, Сиднее (Австралия). Франция и Великобритания также развивают BRT-системы в своих городах [4]

Во многих городах США также существуют BRT системы, поскольку даже города, которые изначально создавались в расчёте на пользование личным автотранспортом, в настоящее время осознают необходимость создания скоростных пассажирских систем общего пользования. BRT линии с обособленной инфраструктурой существуют в таких

городах, как Питсбург, Бостон, Лас-Вегас. Сан-Франциско [3] Время поездки в Питсбурге при использовании BRT сократилось на 50%, в Лос-Анджелесе и Чикаго на 25% [4]

Создание BRT системы является наименее затратным из всех возможных типов скоростных систем городского транспорта [5]. Кроме того, при падении величины пассажиропотока возможно использовать инфраструктуру для других видов автотранспорта. Однако современные подходы к планированию устойчивого развития городов предполагают интеграцию транспортного и градостроительного планирования. Это означает, что город будет развиваться с учётом имеющегося транспортного каркаса. Таким образом, вероятность резкого изменения пассажиропотоков на основных направлениях существенно снижается.

Обособление инфраструктуры и большой парк автобусов различной вместимости в Куритибе позволяет обеспечить провозную способность BRT 15-20 тысяч пассажиров в час. То есть, BRT позволяет обслуживать значительные пассажиропотоки. При этом частота движения автобусов на магистральных маршрутах составляет 60-70 единиц в час.[6]

Очевидно, что такое количество автотранспорта создаёт существенную нагрузку на городскую среду, даже при условии выполнения жёстких норм на выбросы отработавших газов, учитывая выбросы твёрдых частиц от истирания шин, дорожного покрытия и тормозных устройств.

Следует учитывать и тот факт, что продолжительность поездки зависит не только от скорости движения транспортного средства, но и от скорости пассажирообмена на остановочных пунктах, которая во многом определяется особенностями конструкции транспортных средств и остановочных пунктов, а также способом организации сбора оплаты проезда.

Подвижной состав, применяемый для организации BRT должен обеспечивать обслуживание больших пассажиропотоков. Поэтому на скоростных автобусных маршрутах используются автобусы повышенной вместимости. Длина таких автобусов может достигать 18 метров, в этом случае для их обслуживания необходимо создавать соответствующую инфраструктуру (ремонтные парки, заправочные станции и т.д.) Так, например, в городе Куритиба используются автобусы вместимостью от 30 пассажиров (подвозящие маршруты) до 270 пассажиров (скоростные радиальные маршруты). Для ускорения пассажирообмена на остановках автобусы должны иметь большее количество расширенных дверей. Так, например, в Лас-Вегасе используется подвижной состав Civic производства фирмы Iris bus, имеющий 4 двери [3] Если выделенные полосы находятся в

середине проезжей части, то транспортные средства могут иметь двери с разных сторон. Огромное значение для удобства и скорости посадки-высадки имеет расположение пола автобуса по отношению к уровню остановки. Поэтому в транспортные средства BRT, как правило, являются низкопольными, а в Куритибе экспресс-автобусы даже оборудованы откидными трапами. Быстрая посадка-высадка из транспортных средств обеспечивается максимально близким расположением транспортного средства по отношению к остановке. Для этого, автобусы оснащаются системами помощи водителю для более точной остановки (во многих городах Франции).

Источниками негативного воздействия BRT на городскую среду является как сам и транспортные средства, так и инфраструктурные объекты.

С точки степени негативного воздействия на городскую среду в процессе движения существенное значение имеет силовая установка, на которой работают транспортные средства. Несмотря на название (bus rapid transit) данная транспортная система может использовать как автотранспорт с различными видами ДВС (двигателей внутреннего сгорания), так и электробусы и даже троллейбусы (как, например, в городе Кито).

Токсичность отработавших газов карбюраторных двигателей обуславливается главным образом содержанием окиси углерода и окислов азота, а дизельных двигателей – окислов азота и сажи. К числу вредных компонентов относятся и твёрдые выбросы, содержащие свинец и сажу, на поверхности которой адсорбируются циклические углеводороды (в том числе и обладающие канцерогенными свойствами).

Наиболее распространёнными типами ДВС для автобусов являются дизельные. Для снижения негативного воздействия выбросов отработавших газов таких автобусов необходимо использовать низкосернистое топливо. Кроме того, могут применяться топливные смеси с различным содержанием биокomпонентов, такие как биодизель FAME, маркируемый буквой B, за которой следует процент содержания биокomпонентов, синтетическое (HVO) дизельное топливо (H), BE-дизель (с добавлением биодизеля и этанола).

Биодизель практически не содержит серы, соответственно выбросы транспорта, использующего биодизель, не вносят существенный вклад в закисление природных сред. Использование биодизеля позволяет снизить мутагенность и токсичность отработавших газов. Переход на использование биодизеля типа FAME сокращает выбросы твёрдых частиц, но может увеличивать выбросы NO_x , в то время как использование синтетического дизельного топлива HVO одновременно сокращает и выбросы оксидов азота. [7].

Перевод автотранспорта на газовое топливо позволяет сократить выбросы загрязняющих воздушную среду ингредиентов, выделяющихся при сгорании топлив, в том числе выбросы NO_x и, особенно, твёрдых частиц, а также предотвращает выбросы углеводородов с высокой химической активностью, способствующих образованию приземного озона. Для использования на городском транспорте важно, что выбросы газомоторного транспорта менее зависимы от изменения условий движения. Кроме того, при использовании газомоторного топлива детали двигателя меньше подвержены коррозии, что в большей степени это относится к газообразному топливу.

В качестве газомоторного топлива возможно использование как СУГ (сжиженного углеводородного газа), источником которого является попутный нефтяной газ, так и природного газа в виде компримированного (КПГ) или сжиженного (СПГ). Использование метана (КПГ) более безопасно, поскольку он менее токсичен, чем пропан-бутан (СУГ), в случае утечки улетучивается, а не скапливается, поскольку легче воздуха в отличие от СУГ. Однако необходимо принять во внимание тот факт, что метан признан газом, влияющим на климатические изменения, так как участвует в формировании «парникового эффекта». Выбросы нерегулируемых загрязнителей, таких как бензол и бутadiен ниже для КПГ, но уровень выбросов ацетальдегида и, в особенности, формальдегида и метанола ниже для СУГ.

Следует упомянуть и то, что при низких температурах до -45°C СУГ может использоваться более успешно. Его легче и дешевле доставлять на заправку автотранспортом, поскольку для КПГ требуются ёмкости особой прочности. Эта же причина порождает более высокую стоимость соответствующего оборудования. Увеличение прочности ведёт к увеличению массы автомобиля, что снижает его энергоэффективность, либо возникает необходимость использования более дорогих композитных материалов.

В 2013 году вышло распоряжение № 767-р Правительства Российской Федерации «О регулировании отношений в сфере использования газового моторного топлива, в том числе природного газа в качестве моторного топлива». В этой связи большое внимание уделяется переводу городского общественного транспорта в России на газомоторное топливо.

Природный газ как невозобновляемый ресурс постепенно будет заменён биогазом. Уже в 2012 году 50% Стокгольмского парка муниципального транспорта работало на биометане. [8] Источником биогаза могут служить как бытовые, органические отходы, так и органические отходы сельскохозяйственного производства, а также отходы

лесной и деревообрабатывающей промышленности. Газ, получаемый из бытовых отходов, содержит около 45% метана, диоксид углерода и азот; получаемый из органических отходов содержит больше метана - приблизительно 65% (варьируется между 50 и 75%, в зависимости от сырья для его производства). Синтетический биометан, полученный, в частности, из отходов лесной промышленности, содержит наибольшее процентное содержание метана. [9]

Существенное снижение негативного воздействия на воздушную среду в процессе движения может быть достигнуто путём использования транспортных средств с гибридными или электродвигателями. Причём могут применяться как сочетания электропривода с дизельным (Civis в Лас-Вегасе), так и с карбюраторным двигателями. Существует два типа гибридных автомобилей – электробатарея может заряжаться, как и у электромобиля от внешней электросети (PHEV) и гибридные автомобили, аккумулятор которых заряжается при работе ДВС, используя рекуперативное торможение. Именно такой вид гибридных двигателей в настоящее время используется для автобусов в Нью-Йорке и Сиэтле. Следует учитывать и тот факт, что гибридные системы для городского транспорта общего пользования оптимизированы для эксплуатации в режиме старт-стоп. Поэтому увеличение выбросов экотоксикантов при «плотном» движении для подобных двигателей существенно ниже, чем для обычных ДВС.

Многие крупные города, такие как Лос-Анджелес, Шанхай, Париж переводят свой автобусный парк на машины с электродвигателями. Переход на использование электротранспорта стимулирует развитие и совершенствование инфраструктуры для его зарядки. Так, например, доля быстрых зарядных станций в Китае составляет 81%, что объясняется наличием большего, чем в любой другой стране мира количества электробусов, которым быстрая зарядка необходима. [10]

Использование троллейбусов на линиях BRT также снижает негативное воздействие на городскую среду в процессе движения. Применение современного подвижного состава, имеющего асинхронный привод, устройства рекуперации электроэнергии позволяют снизить удельное потребление энергии. Кроме того, устройства автономного хода обеспечивают передвижение на некоторое расстояние без использования контактной сети, позволяют сделать троллейбус более манёвренным и, следовательно, более привлекательным для использования в системах городского скоростного транспорта общего пользования.

Несомненно, транспортные средства с так называемым нулевым выбросом, в том числе электробусы и троллейбусы, вносят существенный вклад в снижение негативного

воздействия транспортных потоков на городскую среду, ведь именно в крупных городах эта проблем стоит особенно остро. Однако, учитывая весь жизненный цикл электропривода, следует отметить, что интенсивность негативного воздействия электротранспорта определяется первичными источниками энергии для его движения. Проведённый по методике WTW (Well-to-wheels от скважины до колеса) анализ выбросов климатических газов в CO₂ эквиваленте показывает, что удельные выбросы электротранспорта на нынешнем этапе развития электроэнергетики сравнимы с выбросами транспорта, работающего на ДВС. [11] Таким образом, для снижения негативного воздействия на окружающую среду во всём жизненном цикле необходимо, в первую очередь, переходить к низкоуглеродной электроэнергетике, а также использовать различные виды отходов для производства электроэнергии.

Однако воздействие транспорта на городскую среду не ограничивается только выбросами отработавших газов. Истирание шин, элементов тормозных механизмов и дорожного покрытия также является значимым источником загрязнения, как воздушной среды города, так и почв и поверхностных вод.

Твёрдые частицы, которые являются следствием износа механических частей (1-4%) и покрышек транспортных средств (9-36%), а также дорожного покрытия (60-90%) содержат множество экотоксикантов. [12] В поверхностных стоках с проезжей части автомобильных дорог содержатся, кроме твёрдых частиц нефтепродукты, тяжёлые металлы (свинец, кадмий и др.) и хлориды, которые в зимний период применяются для борьбы с гололёдом.

Загрязнение воздуха и других природных сред также происходит на заправках (автотранспорт) и при обслуживании подвижного состава в парках и депо.

Предприятия по обслуживанию подвижного состава являются источником образования отходов различного класса опасности. При обслуживании и ремонте автотранспорта образуются: отработанный электролит; осадок нейтрализации кислотного электролита; свинцовые аккумуляторы; отработанные масла автотранспорта; шины и автомобильные камеры; промасленные фильтры; обтирочный материал, загрязненный маслами; загрязненный маслами песок, а также отходы, образующиеся от металлообрабатывающего и сварочного оборудования: лом черных металлов, стружка и пыль черных металлов, обтирочный материал, загрязненный маслами, остатки и огарки от стальных сварочных электродов. При наличии котельной также образуются золошлаки [13]

Следующий вид скоростного пассажирского транспорта общего пользования, предназначенный для обслуживания значительных устойчивых пассажиропотоков - LRT (Light Rail Transit легкий рельсовый транспорт). LRT может быть использовано для организации пассажирского сообщения внутри больших городских агломераций или для маятникового перемещения пассажиров между городом и его ближайшими пригородами. Например, в Рио-де-Жанейро VLT Carioca перевозит до 300 тыс. пассажиров ежедневно между районом Porto Maravilha и центральной частью города. [14] Такие системы требуют меньше пространства для размещения рельсовой инфраструктуры, чем полосы для BRT, и обладают при соответствующей организации большей провозной способностью, а, следовательно, более эффективно используют городское пространство. Название – легкий рельсовый транспорт предполагает меньшую допустимую нагрузку на ось, чем у поездов метрополитена.

По данным на 2015 год LRT системы функционировали в 388 городах 53 стран всех континентов Земли. В 2016 г. было создано 289 км линий ЛРТ в 19 странах мира. [14]. Количество пассажиров, перевозимых ежегодно ЛРТ-системами в различных городах мира, иллюстрирует рис. 2.1

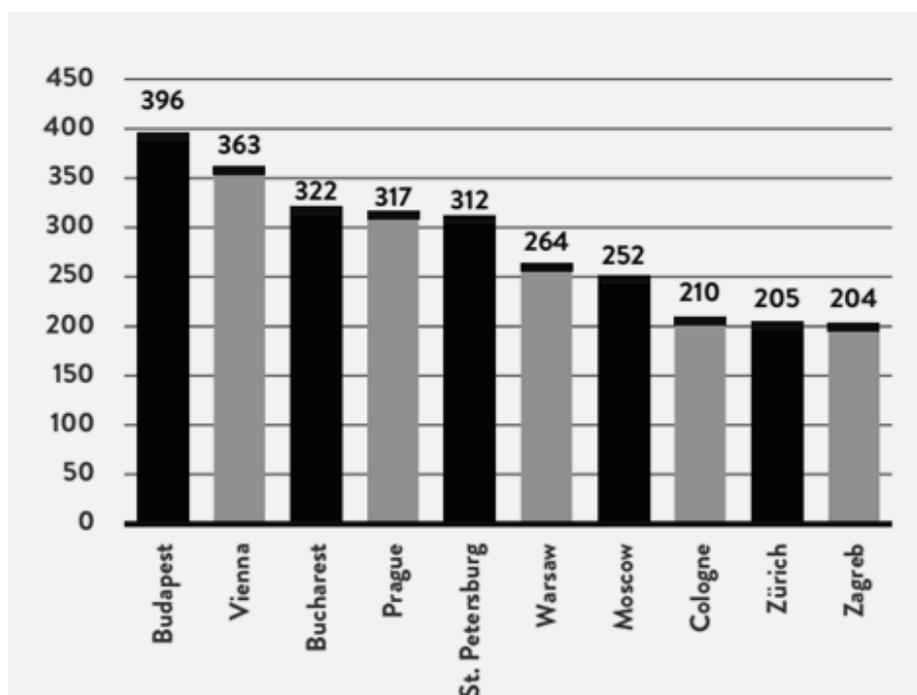


Рисунок 2.1 ЛРТ-системы, перевозящие наибольшее количество пассажиров

Наиболее загруженные ЛРТ-системы представлены в таблице 2.3 [15]

Таблица 2.3

Город	Число пассажиров на км пути ежегодно
Гонконг (Tuen Mun)	4813

Стамбул	4294
Токио	3920
Сараево	3840
Загреб	3517

В России для подобных систем используется название скоростной трамвай. Согласно СНиП 2.05.09-90 «трамвайные линии с шириной рельсовой колеи на прямых участках 1524 мм с расчетными скоростями сообщения менее 24 км/ч относятся к обычному трамваю и 24 км/ч и более к скоростному. За расчетную скорость сообщения принимается скорость движения трамваев между конечными пунктами посадки (высадки) пассажиров, включая время стоянок на промежуточных остановках. При этом допускается проектировать скоростные участки путей с шириной рельсовой колеи на прямых участках 1521 мм. Линии скоростных участков следует проектировать в городах и между городом и тяготеющими к нему населенными пунктами на направлениях с устойчивым пассажиропотоком не менее 7 тыс. пассажиров в час в максимум нагрузки в одном направлении или при других потоках при соответствующем обосновании. Линии трамвая, работающего в обычном режиме, следует проектировать на направления с устойчивым пассажиропотоком не менее 5 тыс. пассажиров в минимум нагрузки в одном направлении». [16]

Современные скоростные LRT системы, как правило, требуют полностью выделенной линейной инфраструктуры, в отличие от обычного трамвая, который может передвигаться в общем потоке, поскольку въезд на трамвайные пути не запрещён другим участникам движения. Согласно СНиП 2.05.09-90, возможны следующие варианты размещения линий скоростного трамвая:

- на обособленном полотне, отделенном от проезжей части или тротуаров разделительной полосой; при этом головки рельсов должны располагаться выше или на одном уровне с бортовым камнем, ограждающим проезжую часть;
- на самостоятельном полотне;
- на совмещенном полотне (при этом головки рельсов должны быть не ниже уровня проезжей части улиц и площадей, по оси проезжей части или по одной из ее сторон) с устройством разметки или ограждений, запрещающих доступ пешеходов и нерельсового транспорта, а также на реконструируемых трамвайных линиях при невозможности переустройства на обособленное полотно.

Движение по линиям скоростных участков, должно быть организовано автономно от трамвая, работающего в обычном режиме, с обеспечением удобных пересадочных узлов. Допускается проектирование линии обычного трамвая с организацией скоростного движения на вылетных направлениях или при подземном прохождении трассы в зоне центра города. [16]

Как уже было сказано выше, расстояние между остановками влияет с одной стороны на скорость сообщения (чем больше расстояние, тем быстрее можно передвигаться), а с другой стороны на удобство доступа пассажиров. Оптимальное размещение остановок требует различных подходов для разных планировочных зон города, а иногда и организации дополнительных маршрутов транспорта малой вместимости для подвозки к станциям LRT.

Расстояние между остановками согласно СНиП 2.05.09-90, следует принимать:

для обычных линий	от 400 до 600 м
для скоростных линий	в пределах от 800 до 1200 м
застроенной территории	
вне пределов застроенной территории	1500 и более м

Обращаясь к опыту развития LRT систем в мире (за последние 15 лет в различных городах мира их было создано более 80), можно отметить, что объекты линейной инфраструктуры размещаются как на полностью обособленном полотне с организацией пересечений с другими транспортными коммуникациями в разных уровнях ROW-A (Лос-Анджелес, Манила, Гвадалахара), так и на обособленном полотне с правом приоритетного проезда пересечений ROW-B. При этом некоторые участки маршрутов LRT могут проходить как на эстакадах, так и в тоннелях. Так во многих городах Европы (Ганновер, Кельн, Франкфурт, Штутгарт, Бонн, Порто и другие), а также в некоторых городах США (Бостон, Филадельфия, Сан-Франциско, Ньюарк, Кливленд) для прокладки трамвайных линии в центре города используется подземное пространство, что позволяет избегать пересечений в одном уровне с другими транспортными коммуникациями и обеспечить безопасность пешеходного движения, не снижая скорости трамвая. [17]

На рисунке 2.2 представлена информация о степени обособления линий ЛРТ от общего транспортного потока (пересечения в одном уровне с другими транспортными

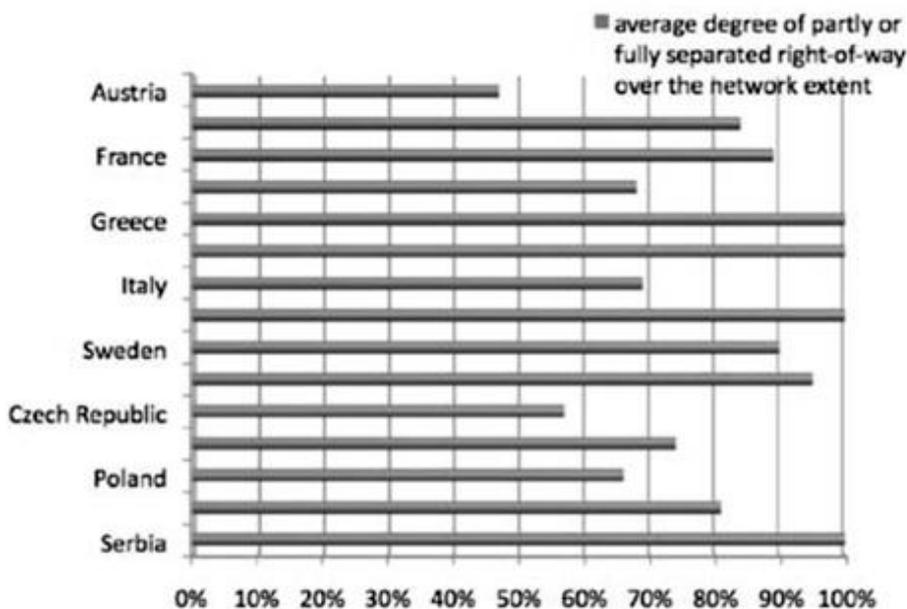


Рисунок 2.2 Степень обособления (полного или частичного) линий ЛРТ от транспортного потока в странах ЕС.

Средняя скорость сообщения наиболее высока в Великобритании (33 км/ч), Ирландии(35 км/ч), Турции (25 км/ч) и Швейцарии (24 км/ч)

Учитывая тот факт, что трамвайные линии во многих городах Европы были хорошо развиты ещё в XX веке, при организации движения ЛРТ применяются также схемы, в которых в районах плотной застройки с интенсивным пешеходным движением трамвай имеет более частые остановки и меньшую скорость движения, а на некоторых участках сети развивает скорость более 30 км/ч. Таким образом, обеспечивается удобство доступа для пассажиров и безопасность для всех жителей города.

Во многих городах Северной Америки, где ранее транспортное обслуживание обеспечивалось в основном индивидуальным автотранспортом, также развиваются системы ЛРТ. За последние 20 лет в 14 городах США и Канады появились подобные виды транспорта, имеющие различную степень обособленности инфраструктуры. Зависимость скорости сообщения ЛРТ от различной конфигурации линейной инфраструктуры приведено в таблице 2.3

Таблица 2.3 Параметры ЛРТ систем в различных городах США

Город	Полностью обособленное полотно	Все пересечения на разных уровнях	Расстояние между остановками, км			Скорость сообщения Км/ч
			среднее	Минимальное	Максимальное	

Лос-Анджелес (Green)	да	да	2,5	1,13	6,8	56,8
Лос-Анджелес (Blue)	да	нет	1,8	1,37	2,1	38,6
Эдмонтон	да	нет	1,5	0,30	2,6	37,8
Сакраменто	да	нет	0,5	0,26	0,5	17,1
Портленд	да	нет	0,4	0,16	0,7	15,4

При этом в Сакраменто и Портленде в центральной части городов линии LRT проложены в районах с интенсивным пешеходным движением и имеют много пересечений с автотранспортом в одном уровне. Всё это вместе с короткими перегонами между остановками превращает этот вид транспорта в обычный трамвай, однако скорость передвижения по участкам линии вне центральных частей города остаётся высокой (в Сакраменто -39,7 км/ч) [19].

Современный подвижной состав для скоростного трамвая обладает, как правило, повышенной вместимостью (до 540 чел), что обеспечивает высокую провозную способность (3-11 тыс. пассажиров в одном направлении в час), и оснащён двумя кабинами для того, чтобы избежать необходимости строительства разворотных колец. Всё это обеспечивает рациональное использование городского пространства. Для увеличения скорости пассажирообмена на остановочных пунктах используются низкопольные составы с широкими дверями. Интересен опыт LRT Стокгольма, где на линиях, имеющих остановочные пункты в виде поднятых над уровнем полотна платформ на строго обособленной части маршрута или двухэтажных платформ в торговых центрах, и обычные остановочные пункты предлагается использовать двухэтажные составы, оснащённые дверьми на каждом этаже. [20]

Энергоэффективность LRT достигается тем, что современный подвижной состав оснащён устройствами рекуперации и сохранения энергии, а современное оборудование электроснабжения также предотвращает потери электроэнергии. Все эти технические усовершенствования трамвая снижают воздействие данного вида транспорта на окружающую природную среду во всём жизненном цикле. Более эффективному потреблению ресурсов также способствует продолжительность жизненного цикла подвижного состава (в среднем 30 лет). Обращаясь к опыту Вены, (до 294 млн.

пассажиров в год), можно отметить, что срок службы трамвайного вагона составляет до 41 года [21], что обеспечивается современной конструкцией и исправным состоянием объектов линейной инфраструктуры, а также хорошим уровнем обслуживания всех технических элементов системы.

Негативное воздействие систем LRT на городскую среду в процессе движения обусловлено, в основном, физическими факторами – шумом, вибрацией и ЭМП (электромагнитными полями). Шумовое и вибрационное воздействие оказывает негативное влияние не только на природную среду, но и на различные сооружения, в том числе и памятники архитектуры.

Следует отметить, что применение новых материалов и способов создания рельсовой инфраструктуры, а также своевременное техническое обслуживание способствуют существенному снижению шумовых и вибрационных воздействий. Шум от проходящего состава может быть снижен до 1,5-2 раз за счёт применения новых конструкций трамвайных путей на монолитном или фибробетонном основании [22]. Благодаря этому использование трамвая на территориях с большим количеством объектов культурного наследия становится более предпочтительным, чем использование других видов транспорта. «Визуальное загрязнение», связанное с наличием воздушных систем электропитания, также могут быть снижены, поскольку устройства сохранения энергии позволяют трамваям на некоторых участках передвигаться без контакта с проводами в особо чувствительных областях (Бордо, Сарагоса, Орлеан, Дубай).

Загрязнение атмосферы происходит при обслуживании линейной инфраструктуры. Установлено, что при использовании 1 кг сварочной проволоки при ремонте трамвайных путей в атмосферу выбрасывается 30-60 г аэрозолей, содержащих оксиды марганца, кремния, фториды. При послесварочной обработке и шлифовке одного рельсового стыка выделяется около 600 г пыли, содержащей оксиды кремния, магния, алюминия. Наблюдаются также утечки смазочных материалов непосредственно на проезжую часть улиц или балластный слой трамвайного пути. [23]

Загрязнения городской среды в процессе обслуживания подвижного состава электротранспорта также значительны, как и для автотранспорта. Так, например, по данным МАДИ-ТУ в процессе очистки и ремонта на предприятиях по обслуживанию подвижного состава в среднем на единицу подвижного состава приходится по 100 кг поверхностных сбросов в год, в том числе сухой остаток - 76 кг, хлориды - 17 кг, сульфаты – 4 кг, взвеси – 1 кг и др. Отходы, передаваемые транспортными предприятиями на дальнейшую переработку, составляют 900 кг в год на единицу подвижного состава, в

том числе: лом металлов – 38%, осадок очистных сооружений – 31%, покрышки – 20%, масла отработанные – 9% и т.д.[24]

В последние 30 лет в некоторых странах мира получил развитие комбинированный рельсовый транспорт - Трам-Трейн. Подвижной состав может передвигаться как по путям, предназначенным для движения трамвая, так и обычным железнодорожным путям, что обеспечивает возможность жителям городских агломераций не только доехать до железнодорожного вокзала, но и продолжить движение по городу, не совершая пересадки.

Впервые такой вид городского транспорта общего пользования был опробован в Карлсруэ (Германия). С 1992 года в этом городе подвижной состав ЛРТ с двойной системой питания (переменный и постоянный ток) использует также региональную сеть железных дорог, которая ещё в 60-е годы прошлого века была активно задействована для перевозки больших пассажиров между пригородными и центральными зонами немецких городов. В настоящее время общая протяжённость путей, используемая трамваями в регионе – Баден-Вюртемберг, где и расположен Карлсруэ, составляет 380 км, из которых 154 километра являются частью региональной железнодорожной сети. [19]

Возникшие сложности из-за разницы высоты посадочных платформ в центре города и на станциях железной дороги, а также разной ширины вагонов Трам-трейна и региональных железных дорог были решены с помощью выдвижных лестниц, обеспечивающих удобство пассажирообмена на остановках. В настоящее время остановки в центре города делаются состоящими из двух частей – для низкопольного внутригородского трамвая и для поездов трам-трейна. Кроме того, поскольку движение рельсового транспорта в центре вблизи пешеходных зон стало достаточно интенсивным, то следующим шагом стало использование для наиболее интенсивно функционирующих направлений подземного пространства. Это потребовало строительства тоннелей, зато уровень безопасности, в том числе экологической, городского рельсового транспорта существенно повысился.

Следующим городом, в котором заработал трам-трейн, стал Саарбрюккен, где были задействованы железнодорожные пути, ранее использовавшиеся сталелитейной промышленностью. В этой системе используется исключительно низкопольный подвижной состав. В 1997 году открылось движение от центра Саарбрюккена до французского города Саргемина. Нельзя не отметить тот факт, что создание комбинированных рельсовых транспортных систем стало возможным в Германии благодаря принятию соответствующих политических решений и поддержке на государственном уровне.

На настоящее время подобные транспортные системы функционируют также в таких городах как Кассель, Хемниц, Нордхаузен, Цвиркау (Германия), Палермо (Италия), Краков (Польша), Аликанте (Испания), Страсбург (Франция), Шеффилд (Великобритания), а также в некоторых городах США. Стандартизированный подход к TramTrain в странах Евросоюза разрабатывается в рамках проекта CROSSRAIL, основное внимание в котором уделяется техническим параметрам комбинированного рельсового транспорта. [25]

Трам-трейн системы, развивающиеся в разных городах, имеют свои особенности. Так, например, при наличии неэлектрифицированных участков железнодорожной сети в таких городах как Кассель и Аликанте используется дизель-электрический подвижной состав. В центральной части городов, где пути полностью электрифицированы, трам-трейн не является источником выбросов отработавших газов, поскольку использует электросеть, тем самым снижает нагрузку на городскую среду от транспорта. Несмотря на отсутствие выбросов в процессе движения трам-трейн не пересекает пешеходные зоны, что разрешено обычному трамваю, что видимо, обусловлено требованиями обеспечения безопасности для пешеходов.

Основные сложности при преобразовании двух видов рельсового транспорта в трам-трейн представляют вопросы безопасности. Железнодорожный транспорт предъявляет более жёсткие требования к подвижному составу, что делает его более тяжёлым. Кроме того, необходимо обеспечить сравнимый с ЛРТ уровень комфортности подвижного состава. Различная ширина вагонов поездов пригородного сообщения и трамваев также создаёт сложности для обеспечения комфортной и быстрой посадки-высадки. Использование более широких вагонов, как правило, не приемлемо в центральной части городов, особенно в пределах исторической застройки, также как и повышение уровня шума и вибрации, создаваемых интенсивным движением рельсового транспорта.

Говоря о влиянии электротранспорта на городскую среду и здоровье человека, необходимо обращать особое внимание на вопросы защиты горожан от электромагнитного излучения. Масштабы электромагнитного загрязнения среды городов стали столь существенны, что ВОЗ включила эту проблему в число наиболее актуальных для человечества.

Исследованиями ученых Института геофизики Уральского отделения РАН установлено, что постоянно движущийся городской транспорт является распределенным генератором непрерывных вариаций электромагнитного поля низких частот. При этом

пиковые предельные значения вариаций связаны не только с движением электротранспорта, но и с прохождением грузовых автомобилей. Движение городского транспорта вызывает изменения магнитного поля порядка 40-50 нТл, вызванное относительно малыми магнитными массами (легковыми автомобилями) и максимальное возмущение до 200-300 нТл, вызываемое большегрузным автотранспортом. [26]

Наиболее сильные поля (достигающие 1 мкТл) создаются трамваями и поездами метро, работающими на постоянном токе. По данным специального мониторинга магнитных полей в Санкт-Петербурге, проведенного сотрудниками ИЗМИРАН, интенсивность ультранизкочастотных магнитных полей около метро превышала природный фон в сотни тысяч раз. По предположениям учёных, растекаясь от рельсов, электрические токи концентрируются на металлических поверхностях подземных трубопроводов, на коммуникационных кабелях и других предметах, имеющих более высокую проводимость, чем земля, существенно увеличивая электромагнитное загрязнение.

Установлено, что уровень электромагнитных излучений в вагонах общественного электрического транспорта во время работы двигателей в 10 000 раз превышает естественный электромагнитный фон планеты Земля (таблица 2.4)[27,28]

Таблица 2.4 ЭМП электротранспорта

Вид транспорта и род потребляемого тока	Среднее значение величины магнитной индукции, мкТл	Максимальное значение величины магнитной индукции, мкТл	Превышение нормы
Пригородные электропоезда	20	20-75	в 100-375 раз выше
На станции метро (при отправлении поезда)	50	50-100	в 250-500 раз выше
В вагоне метро	150	150-200	в 750-1000 раз выше
Городской электротранспорт (трамвай, троллейбус)	120	20-160	в 600-800 раз выше
Автомобиль	100	140	в 500-700 раз выше

Развитие транспортной системы мегаполиса требует значительных пространственных ресурсов, поэтому крупнейшие города мира используют подземное или надземное пространство для организации движения метрополитена, который представляет

собой системообразующий элемент не только для транспортной системы, но и для развития экономической активности. Именно метрополитен, как вид транспорта обладающей отдельной от всех других видов транспорта инфраструктурой (ROW-A) может обеспечить перемещение наиболее интенсивных пассажиропотоков.

По данным МСОТ в 2014 году линии метрополитена функционировали в 157 городах мира, наибольшее число таких систем расположено в Азии (54) и Европе (46) Развитие метрополитена в различных городах мира продолжается. Только за 2014 год в Сальвадоре (Бразилия), Мумбаи (Индия), Ширазе (Иран) и нескольких городах Китая начали функционировать новые системы метро. [29]

Данные по наиболее крупным системам метро в мире приведены в таблице 2.5 [30]

Таблица 2.5

Город	Количество станций	Общая длина линий метро (км)	Число пассажиров в год (млрд.)	Число жителей (без учёта пригородов) млн.
Нью-Йорк	468	373	1.8	8,4
Шанхай	337	584	2.8	24,3
Пекин	319	527	3.4	21,5
Сеул	311	332	2.6	9,9
Париж	303	220	1.5	2,2
Лондон	270	402	1.1	8,7
Москва	196	328	2,5	12,1
Мехико	195	227	1.6	8,9
Токио	179	179	2,9	13,5

Очевидно, что наиболее загруженными по числу пассажиров на км линейной инфраструктуры являются метрополитены крупнейших городов Китая и Токио, а наименее загруженным из рассмотренных выше – метрополитен Лондона. Стоимость поездок в Лондонском метро является одной из наиболее высоких, интервал между прибытием поездов составляет приблизительно 10 минут, тогда как интервал между прибытием поездов метро в Пекине составляет около 3 минут, в Шанхае – от 2 до 15 минут.

В различных городах метрополитены имеют свои особенности. Так наиболее глубоким в мире является метро Пхеньяна, расположенное на глубине около 100 м. Эта особенность объясняется тем, что потенциально метро может быть использовано как убежище в случае военных действий. Глубина залегания Санкт-Петербургского метрополитена (около 60 метров) объясняется геологическими особенностями места расположения и необходимостью связывать берега Невы. Одна их самых глубоких станций метро в мире – Адмиралтейская.

Геологические особенности месторасположения линий метрополитена существенно влияют на стоимость строительства, и это при том, что инфраструктура метрополитена и так является наиболее дорогой из всех видов скоростного транспорта общего пользования. Поэтому большое количество линий метро в мире имеют наземные или эстакадные участки. В городах Европы 75% линий метро расположены под землёй, 24% на поверхности и 4% на эстакаде. [18] Кроме того, появляются проекты, предполагающие движение поездов в тоннелях с выездом на поверхность, где расположены остановочные пункты (Казань «Метролюкс»), что снижает продолжительность поездки для пассажира (нет необходимости спускаться под землю).

Расстояние между станциями метро также влияет на его стоимость, а также на скорость сообщения. Поэтому, если в центральной части городов Европы расстояние между станциями, как правило, не превышает одного километра (любое здание центра Парижа находится не далее 500 метров от станции метрополитена), на вновь строящихся линиях это расстояние имеет тенденцию к увеличению. [18]. Эффективность использования электроэнергии поездами метро обуславливается тем, что их скоростной профиль не зависит от движения других видов транспорта в силу ROW-A. Современный подвижной состав, как правило, оборудован асинхронными двигателями и устройствами рекуперативного торможения. Кроме того, внедрение автоматизации в управление процессом движения обеспечивает эковождение и более точное соблюдение расписания.

Повышение автоматизации функционирования метрополитена является одним из главных трендов его развития. Так, например, в Дубаи обслуживание 74.5 км линии метрополитена полностью автоматизировано. Линии расположены на эстакадах и уходят в тоннель в центральной части города. Следующие по длине автоматизированные сети метрополитена находятся в Ванкувере (68 км) и Сингапуре (65 км). [29]

Переходя к описанию негативного воздействия метрополитена на городскую среду, прежде всего, следует упомянуть о том, что строительство тоннелей для метрополитена может активизировать такие геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические процессы как суффозия (процесс механического выноса мелких частиц из массива горных пород под воздействием потока подземных вод), пльвуны (пески, обладающие ничтожно малым сцеплением и легко разжижающиеся и оплывающие при очень малых разрушающих напряжениях) и карстообразование (совокупность явлений, связанных с деятельностью воды (поверхностной и подземной) и выражающихся в растворении горных пород (гипсы, известняки, доломиты, каменная соль) и образовании в них пустот разного размера и

формы. Также при строительстве тоннелей происходит техногенное изменение, а также загрязнение подземных вод и грунтов и нарушение гидродинамического режима подземных вод. Кроме того, радоноопасность и глубинные эманации. Техногенная деятельность в подземном пространстве города может в значительной степени изменять (усиливать или ослаблять) миграцию радионуклидов, в том числе и радиоактивных газов, что является проблемой, например, для такого города как Санкт-Петербург [31]

Поскольку метрополитен обладает собственной линейной инфраструктурой и является электротранспортом, основное негативное воздействие на городскую среду при функционировании оказывают стационарные объекты, такие как депо.

Основными факторами негативного воздействия на здоровье человека являются ЭМП, шум и вибрация, создаваемые движением поездов метро.

Учеными Колумбийского университета США были проведены звуковые замеры в вагонах и на станциях Нью-Йоркского метрополитена. Было установлено, что средний уровень шума на платформах метро составляет 86 ± 4 дБА, а самый высокий уровень составил 106 дБА. Показатели звукового воздействия в вагонах метро достигли отметки 112 дБА, а в среднем составляют 94,9 дБА [32], что оказывает существенное негативное воздействие на пассажиров. Для решения данной проблемы применяются различные новые технологии. Известно, что на скоростях движения до 100 км/ч определяющий вклад в шумовое воздействие вносит шум от контакта колеса и рельса, поэтому в Парижском метро функционирует подвижной состав, использующий резину в зоне контакта.

В качестве городского пассажирского внеуличного транспорта используется также монорельсовый транспорт эстакадного типа на подвесной или опорной системе. Монорельсовые системы городского транспорта общего пользования имеются в 28 городах мира. В Европе - в Вуппертале (13,3 км), Дортмунде (3 км) и Москве (4,7 км). Монорельс в Вуппертале (Германия) перевозит 25 млн. пассажиров в год. В Дюссельдорфе монорельс связывает аэропорт и железнодорожную станцию (2,5 км). В Северной Америке общая длина монорельса, используемого как городской общественный транспорт — 14,8 км, из них 1,5 в Сиэтле, 7 в Джексонвилле и 6,3 км в Лас-Вегасе. В Китае и Японии монорельсовый транспорт развивается наиболее успешно. Крупнейшая монорельсовая система 23,8 км функционирует в Осаке. Больше всего пассажиров перевозит Токийский монорельс - 100 млн. пассажиров в год, [33]

Скорость, развиваемая монорельсовыми составами, зависит от геометрии пути, поэтому свыше 50 км/ч он может передвигаться только вдоль прямых участков. Кроме того, перевод стрелки занимает 30 сек, поэтому скорость сообщения не слишком высока.

При движении монорельсовый транспорт не создаёт загрязняющих воздушную среду города выбросов, а шумовая нагрузка меньше, чем у трамвая (Wuppertaler Schwebebahn создает шумовую нагрузку в 56 дБ [34]). Благодаря использованию эстакад он требует меньше городского пространства, чем наземные виды транспорта, однако стоимость его сооружения значительно выше. На первый план выходят также вопросы безопасности, особенно в зимнее время, поскольку следует учитывать тот факт, что эвакуация пассажиров из остановившегося по причине поломки состава существенно затруднена.

Ещё одним видом эстакадного транспорта является магнитно-левитационный. Подобные системы развиваются в Корее, Японии и Китае. В Китае действует линия протяженностью 30 км, связывающая Шанхай и аэропорт, максимальная скорость поезда — 430 км/час; время в пути — 10 мин. В будущем её планируется продлить на другой конец города до старого аэропорта Хунцяо, и далее на юго-запад до города Ханчжоу, после чего её общая длина должна составить 175 км.[35] В Японии, в Нагое, была построена трасса длиной в 9 км к выставке Экспо-2005. В Южной Корее в феврале 2016-го открылась магнитолевитационная трасса протяженностью 6 км – от аэропорта до базы отдыха Yongyuoo-Mui. [36]

Основным преимуществом магнитно-левитационного транспорта перед другими видами рельсового транспорта является отсутствие трения между подвижным составом и путевой инфраструктурой, что позволяет существенно уменьшить шумовую и вибрационную нагрузку при движении на скоростях до 100 км/ч. Однако данный вид транспорта может развивать и существенно большие скорости на длинных прямых участках трассы. Поэтому его применение будет более эффективным при перевозках пассажиров на большие расстояния, а не для внутригородских перевозок.

Рассматривая перспективные скоростные транспортные системы, предназначенные для перевозки больших пассажиропотоков в крупных городах, следует учитывать в качестве одного из приоритетных факторов снижение техногенной нагрузки на городскую среду и здоровье жителей города, учитывая все виды загрязнений. Основные источники и виды загрязнений от транспорта были описаны выше, в следующей главе более подробно остановимся на негативных последствиях, вызываемых этими загрязнениями.

3 Анализ основных видов негативного воздействия транспорта на городскую среду и здоровье человека

Транспорт является одним из наиболее существенных источников загрязнения городской среды в крупных городах, а также требует значительных ресурсов для своего функционирования. Согласно данным, приведённым в исследовательском докладе по вопросам транспорта и мобильности конференции ООН по Жилью и Устойчивому городскому развитию 2016 года, в 2010 году транспорт был ответственен за 23% от общего объема выбросов углекислого газа, связанных с производством и потреблением энергоресурсов. Конечное потребление энергии в транспортном секторе достигло 27,4% от общего объема энергопотребления, при этом его большая часть пришлась на города. В условиях сохранения такого положения дел объем выбросов транспортом может вырасти темпами, опережающими выбросы любого другого энергопотребляющего сектора и достичь 12 млрд. т CO₂-экв к 2050 г. .[37]

Следует отметить тот факт, что выбросы газов, ответственных за изменение климата, при переходе на новые виды автотранспорта такие как гибридные и электромобили существенно не уменьшаться, если принимать во внимание удельные выбросы во всём жизненном цикле WTW. Эмиссия климатических газов в CO₂-эквиваленте (г/МДж) разных типов двигателей легковых автомобилей приведена в таблице 3.1.[38].

Таблица 3.1 Удельные выбросы двигателей по типам энергоносителей

Виды топлива	Выбросы в полном цикле WTW (г/МДж)
бензин	84
Дизель	90
Природный газ	66
Сжиженный нефтяной газ	73
Водород	113
Биометан	17
Биодизель	34
Электроэнергия	156

Основным фактором снижения выбросов климатических газов электротранспортом является изменение структуры производства электроэнергии

(основным источником получения электроэнергии по-прежнему являются углеводороды), а также уменьшение пробега автотранспорта.

По прогнозам специалистов к 2050 году «экологический след» (потребление природного капитала) для обеспечения городской мобильности составит 17,3% (рис. 3.1)

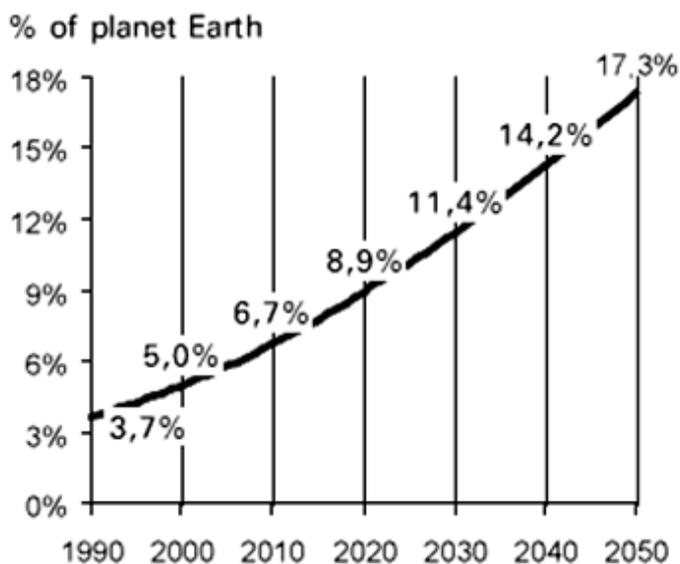


Рисунок 3.1 Доля городского транспорта в негативном воздействии на окружающую природную среду от всех источниками планеты.

Экономические и социальные потери от времени, проведённого в транспортных заторах также существенны. В денежном эквиваленте: в США потери от времени, проведенного в заторах на дорогах, составили 0,7% от ВВП, в Великобритании – 1,2% от ВВП, в Дакаре, Сенегал, – 3,4%, 4% в Маниле, Филиппины, от 3,3% до 5,3% в Пекине, Китай, от 1 до 6% в Бангкоке, Таиланд, и до 10% в Лиме, Перу, где люди в среднем проводят в дороге около четырех часов ежедневно.[39]

Ещё более существенным фактором негативного воздействия транспорта являются дорожно-транспортные происшествия. От них ежегодно погибает 1,24 млн. человек, причём большая часть (92%) случается в странах с низким и средним уровнем дохода.

Кроме того, загрязнение различных природных сред также приводит к человеческим потерям: по оценкам ВОЗ (Всемирной Организации Здравоохранения), загрязнение воздуха, частично вызванное транспортом, послужило причиной 3,7 млн. преждевременных смертей по всему миру в 2012 году; при этом 88% из этих смертей случились в странах с низким и средним уровнем дохода. [40]. Болезни, возникающие от шумового воздействия транспорта, ежегодно уносят более одного миллиона лет здоровой жизни в странах Западной Европы [41] Наиболее подвержены риску здоровью от шумового воздействия дети. По данным ВОЗ шум может оказывать негативное

воздействие на память и аналитические способности. У детей, подвергаемых постоянному сильному шумовому воздействию, ослаблены способности приобретения навыков, чтения, наблюдается рассеянное внимание [42].

В России в 2015 году число дополнительных случаев смерти по причине болезней органов дыхания, кровообращения и новообразований, ассоциированных с загрязнением воздушной среды, составило 8 тысяч человек, а дополнительных случаев заболеваний органов дыхания, глаз, эндокринной системы, крови, кроветворных органов, а также нарушений деятельности иммунной системы – 3022 тыс. [43]

Современные города, постоянно увеличивающие свои территории и население, создают особенно высокую техногенную нагрузку на окружающую среду и здоровье своих жителей. Данные для городов Европы свидетельствуют о следующем:

- города Европы выбрасывают 69% выбросов CO₂ этой части света [44]
- 40% выбросов парниковых газов от выбросов всего Европейского автомобильного транспорта приходится на городской автотранспорт [45]
- увеличение урбанизированных областей в европейских странах уменьшает или фрагментирует открытое пространство; таким образом, влияние городов распространяется на более широкие области, увеличивая риск потери биоразнообразия [46]

Следует учитывать, что в крупных городах загрязнение воздуха существенно определяется воздействием транспорта. Так, например, в Москве 93,5%, а в Санкт-Петербурге 85,7% загрязнения воздушной среды обусловлено выбросами автотранспорта. [43]

Выбросы отработавших газов автотранспортом происходит на небольшой высоте, то есть в зоне дыхания человека. Состав отработавших газов зависит от рода и качества применяемых видов топлива, присадок и масел, режимов работы двигателя, его технического состояния, условий движения и некоторых других факторов. Приоритетными по воздействию на здоровье человека компонентами отработавших газов являются CO, NO_x, дисперсные частицы и бенз(а)-пирен. Следует отметить, что даже кратковременное воздействие повышенного уровня содержания CO в воздухе может проявляться в сердечнососудистых реакциях (усиление стенокардии при физической нагрузке) и снижении физической работоспособности. Влияние оксидов азота. в основном, выражается в нарушении функции лёгких. Кроме того, повышенное содержание оксидов азота в атмосфере крупных городов может служить причиной образования фотохимического смога. Фотооксиданты образуются в атмосфере при

взаимодействии реакционноспособных углеводородов и оксидов азота под действием УФ-радиации. Происходит накопление "приземного" (в противоположность стратосферному) озона, который, являясь сильнейшим окислителем, оказывает канцерогенное, мутагенное, генотоксическое действие. Токсичность его увеличивается при наличии оксидов азота (совместное воздействие в 20 раз сильнее).

Твёрдые частицы (ТЧ) в отработавших газах, содержат соединения углерода, а также осаждающиеся на их поверхности тяжёлые металлы, ароматические углеводороды (ПАУ), в том числе и канцерогенные. На рисунке 3.2 представлены доли выбросов дисперсных частиц от различных источников за 2012 год и прогноз на 2030 г. [47]

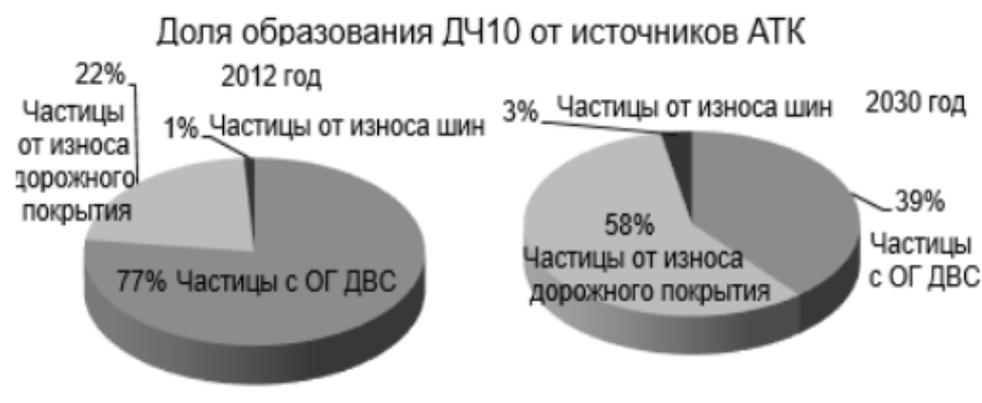


Рисунок 3.2

Последовательное введение норм Евро 1-6 предполагает существенное сокращение удельных выбросов экотоксикантов с отработавшими газами. При этом существенно возрастает доля других источников ТЧ.

В составе пыли, образующейся при истирании шин, присутствует 140 химических соединений различной степени токсичности, в том числе ПАУ и N-нитрозамины. [12]

Продукты износа дорожного покрытия содержат ПАУ, полихлордифенилы, диоксины и фураны, также являющиеся канцерогенами. [48]

Распространение в окружающей среде выбросов твёрдых частиц ТЧ от транспорта зависит от размера частиц. Крупные фракции (диаметром более 1 мкм), оседают вблизи от источника выбросов на поверхности, тогда как мелкие фракции (диаметром менее 1 мкм) образуют аэрозоли и могут распространяться в воздушной среде. Мелкие частицы диаметром менее 10 микрон ($ТЧ_{10}$) и мелкие – диаметром менее 2.5 микрон ($ТЧ_{2.5}$) способны проникать в органы дыхания человека и осаждаются там, поскольку ввиду малого размера частиц защитные механизмы организма не работают.

Кумулятивное долгосрочное воздействие повышенных уровней $ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2.5}$ вызывает нарушение функций лёгких, увеличение частоты респираторных заболеваний,

что снижает качество жизни человека, а иногда и её продолжительность. По оценкам Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) с загрязнением твёрдыми частицами атмосферного воздуха в городах связано приблизительно 1,3 млн. смертей в мире ежегодно. При этом снижение средней концентрации частиц от 75 мкг/м^3 до 20 мкг/м^3 только для ТЧ_{10} приведёт к уменьшению смертности на 15%. [41]

Твёрдые частицы оседают также на поверхностном слое почвы и таким образом попадают в поверхностные и подземные воды, что, в свою очередь оказывает негативное воздействие на урбоэкосистемы.

Физические факторы воздействия, связанные с транспортными потоками, также негативно влияют на качество жизни городского населения и условия существования урбоэкосистем. По оценкам экспертов Евросоюза более 30% населения урбанизированных территорий живут в условиях постоянного шумового воздействия более 55 дБА. Численность населения России, наиболее подверженного воздействию шума в 2015 г. составила 52,8 млн. человек. При этом жители 50% городских территорий подвержены шумовому воздействию, обусловленному движением автомобильного и железнодорожного транспорта [43]. Уровень шумового давления от транспортного потока обуславливается интенсивностью, скоростью движения и его равномерностью, а также составом транспортного потока.

Интенсивные транспортные потоки являются также источником вибрационного воздействия, основное отличие которого от шумового заключается в том, что вибрация не отражается от поверхности тела как это характерно для звука, а проникает во все органы и ткани и может вызвать нарушения их деятельности.

Масштабы электромагнитного загрязнения среды городов стали столь существенны, что ВОЗ включила эту проблему в число наиболее актуальных для человечества. Следует учитывать тот факт, что влияние ЭМП на здоровье человека недостаточно изучено. Однако, по мнению некоторых исследователей, большее воздействие на живые организмы оказывает магнитная, а не электрическая составляющая, поскольку магнитные поля свободно проникают в ткани организма человека. Наиболее чувствительными к данному воздействию является нервная и сердечнососудистая система. Отмечены также изменения кроветворения, нарушения со стороны эндокринной системы, метаболических процессов, заболевания органов зрения [49]

Необходимо упомянуть и тот факт, что размещение транспортных коммуникаций и стационарных объектов транспорта требует отчуждения городских территорий, т.е. транспорт потребляет, в том числе и пространственные ресурсы. Кроме того,

стационарные объекты транспортной системы также оказывают негативное воздействие на городскую среду. Так, например, в поверхностных стоках с проезжей части автомобильных дорог содержатся, кроме взвешенных частиц и нефтепродуктов, тяжёлые металлы (свинец, кадмий и др.) и хлориды, которые в зимний период применяются для борьбы с гололёдом.

Постоянно увеличивающееся количество автотранспорта и, соответственно числа, обслуживающих этот транспорт АЗС (автозаправочных станций) делает одним из актуальнейших вопрос обеспечения их экологической безопасности, поскольку многие АЗС находятся в зонах с высокой плотностью застройки, что приводит к ухудшению качества жизни населения.

Основным источником загрязнения атмосферного воздуха, связанным с функционированием АЗС, являются качественные и количественные потери нефтепродуктов при их испарении. Поскольку характерной особенностью в работе АЗС является выдача малыми дозами большого количества нефтепродуктов и большие коэффициенты оборачиваемости резервуаров (до 120...180 в год), то потери от испарения являются значительными.[50] В среднем состав паровоздушной смеси, “выдыхаемой” из резервуаров, включает 32% массовой доли углеводородов метанового ряда, 12% бензиновых фракций и 56% воздуха. Такие выбросы кроме загрязнения окружающей среды, могут представлять пожаро- и взрывоопасность в районе АЗС.

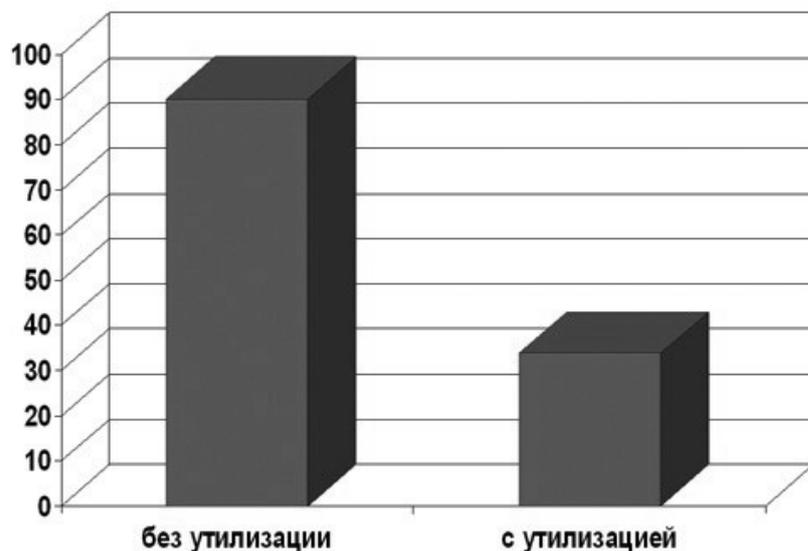
Стационарные объекты транспортной системы служат источником образования значительного объема отходов. Так, например, на предприятии, обслуживающем автотранспорт образуются следующие виды отходов:

- Лом чёрных металлов, стружка и пыль чёрных металлов;
- Аккумуляторы, отработанный электролит, отработанные автомобильные масла;
- Шины и автомобильные камеры;
- Обтирочный материал, загрязнённый различными веществами;
- Строительные и твёрдые бытовые отходы.

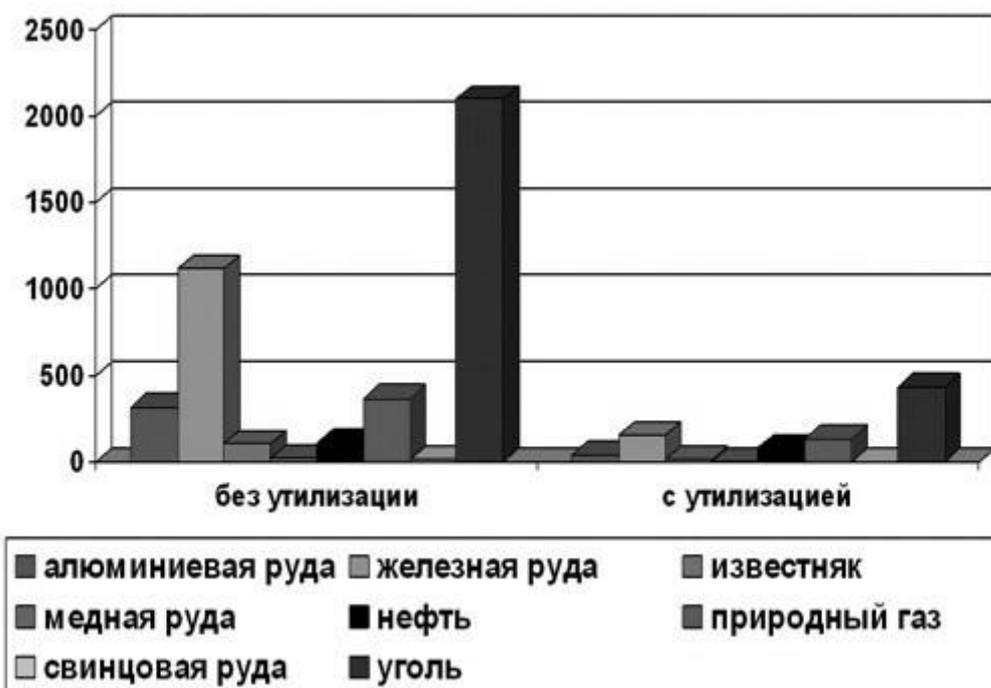
Кроме того, при наличии котельной, образуются ещё и нефтешламы, также как и на АЗС.

Для минимизации негативного воздействия транспортного комплекса на окружающую природную среду необходима система обращения с отходами, в том числе и вышедшими из эксплуатации транспортными средствами, позволяющая максимально подвергать отходы рециклингу.

В качестве примера рассмотрим вопрос утилизации легкового автомобиля [51]. На рис. 3.3 представлены результаты расчета расхода сырья и энергии для двух вариантов, которые условно названы «без утилизации» и «с утилизацией», соответственно.



а)



в)

Рисунок 3.3. Расход природных ресурсов в кг (в) и энергии в ГДж (а) в полном жизненном цикле автомобиля.

Вариант без утилизации предполагал, что автомобиль произведён из конструкционных материалов, полученных из ископаемого сырья, при этом в процессе

эксплуатации изношенные узлы и детали заменяют новыми, по окончании жизненного цикла автомобиль не утилизируется, а, значит, является источником химического загрязнения почвы и водных ресурсов.

Второй вариант предполагает, что автомобиль производят из рециклированных материалов (на 80%), причём в процессе эксплуатации часть узлов и деталей подвергается восстановлению, а по окончании срока службы автомобиль разбирают и направляют конструкционные материалы на рециклирование.

Таким образом, утилизация транспортных средств, а также отходов транспортных предприятий с максимальной долей рециклинга, позволяет не только предотвратить ущерб от загрязнения природных сред при складировании отходов, но и является источником экономии природных и энергетических ресурсов в транспортной системе, а значит, вносит свой вклад в обеспечение устойчивого развития не только конкретного города, но и всей экономики в целом.

Основные виды негативных воздействий транспорта на городскую среду и здоровье населения систематизированы на рис.3.4 [47]



Рис.3.4

Основными мерами по уменьшению этого воздействия, как уже было сказано выше, является снижение пробега автотранспорта, что предполагает осуществление перевозок пассажиров различными видами транспорта общего пользования. Однако необходимо также принимать меры по обеспечению эффективности использования

ресурсов и снижению уровня негативных воздействий на городскую среду и здоровье человека не только от всей городской транспортной системы, но и от каждого из видов общественного транспорта. Экологически устойчивое развитие транспортной системы большого города невозможно без устойчивого развития системы общественного транспорта. Управление экологически устойчивым развитием требует разработки критериев оценки состояния и управления устойчивым развитием как всей системы, так и каждого вида транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение численности населения и урбанизация - основные тенденции развития человечества, что порождает существенное увеличение пассажиропотоков внутри крупных городских агломераций. Транспортная деятельность является основным источником загрязнения воздушной среды крупных городов, а также одним из значимых источников других видов загрязнений. Городской транспорт также является одним из крупнейших потребителей ресурсов. Всё это выдвигает на первый план задачу обеспечения экологически устойчивого развития городских транспортных систем, призванных удовлетворить потребности экономики и общества в ежедневном перемещении больших пассажиропотоков. Важным шагом на этом пути является развитие скоростных систем транспорта общего пользования с учётом основных приоритетов концепции устойчивого развития. Первым шагом на пути управления устойчивым развитием является изучение факторов техногенной нагрузки на среду и их последствий, а также идентификация источников негативных воздействий на различные природные среды, экосистемы и человека.

В связи с этим в настоящей работе:

- произведён анализ международного опыта создания скоростных систем общественного транспорта точки зрения приоритетов устойчивого развития;
- идентифицированы источники негативных воздействий различных скоростных систем пассажирского транспорта общего пользования на городскую среду и здоровье человека;
- рассмотрены различные виды подвижного состава, в том числе и с использованием альтернативных источников энергии и проведён анализ возможностей снижения техногенной нагрузки на городскую среду при их использовании;
- систематизированы данные по характеру воздействий различных факторов загрязнения от транспорта на урбэкоисистемы и здоровье жителей города.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Парижская декларация «Город в движении: в первую очередь люди»// официальный сайт The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/therep/Publications/2015/Paris_Declaration_in_Russian_final.pdf (дата обращения 27.04.2016)
2. Белый О. В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э., Экологические аспекты устойчивого развития городской транспортной системы//Транспортное планирование и моделирование, сб. материалов II Международной научно-практической конференции – СПбГАСУ.-СПб, 2017.- с. 45-49
3. Bohuslav Kotal. Bus Rapid Transit // Transurban, № 5, 2007, URL: <https://os1.ru/article/4596-vydelennye-polosy-dlya-obshchestvennogo-transporta-brt>, дата обращения 8.11.2017
4. L.Wright, K.Fjelistrem, Mass Transit Options// сайт SUTP Международного союза работников общественного транспорта. URL: http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A_Sourcebook/SB3_Transit-Walking-and-Cycling/GIZ_SUTP_SB3a_Mass-Transit-Options_EN.pdf, дата обращения 12.11.2017
5. L.Wright, Training Course: Mass Transit // сайт SUTP,Международного союза работников общественного транспорта, URL: http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/H_Training-Material/GIZ_SUTP_TM_Mass-Transit_EN.pdf, дата обращения 25.09.2017
6. Субъективные заметки о транспортной системе города Куритиба //сайт Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова, URL: <http://obd.altstu.ru/o-transporte/transportnaya-sistema-g.-kuritiba.html>, дата обращения 15.11.2017
7. N.-O.Nylund, K. Koponen Fuel and Technology Alternatives for Buses Overall Energy Efficiency and Emission Performance // сайт IAE-AFM, URL: http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_37.pdf, дата обращения 27.09.2017
8. The impact of biofuels on transport and the environment, and their connection with agricultural development in Europe/ сайт European Parliament, URL: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/513991/IPOL_STU%282015%29513991_EN.pdf, дата обращения 16.10.2017

9. Boisen, M. Lage, Fact Sheet: NG/biomethane used as vehicle fuel// <http://www.ngva.eu/downloads/fact-sheets/NG-Biomethane-as-a-vehicle-fuel.pdf>, дата обращения 15.10.2017
10. Global EV Outlook 2017 Two million and counting// URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>, дата обращения 19.10.2017
11. IEA-AMF: Contributing to Solutions for Alternative and Advanced Transportation Fuels// сайт проекта International Energy Agency – Advanced Motor Fuels, URL: <http://iea-amf.org/app/webroot/files/file/AMF%20Documents/public/AMF%20Brochure%202013.pdf>, дата обращения 25.09.2017
12. В.К.Азаров, С.В.Гайсин, В.Ф.Кутенёв - К вопросу об экологически чистом городском транспорте//Журнал «Экология» - 2016 - №2 (97)- С.36-41
13. Бутовский М.Э., Бутин С.С., Гельдт Д.А., Митрохин А.А., Отходы автотранспортного предприятия и их утилизация//сайт Журнала автомобильных инженеров www.aae-press.ru, URL: www.aae-press.ru/j0058/art014.htm, дата обращения 25.06.2017
14. Light Rail: a tool to serve customers and cities// сайт SUTP Международного союза работников общественного транспорта. URL: http://www.uitp.org/sites/default/files/LRT_Knowledge%20Brief_LQ.pdf, дата обращения 16.11.2017
15. Light rail in figures, statistics brief 2015// сайт SUTP Международного союза работников общественного транспорта. URL: http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/UITP_Statistic_Brief_4p-Light%20rail-Web.pdf, дата обращения 16.11.2017
16. СП 98.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.05.09-90 Трамвайные и троллейбусные линии//URL: <https://dwg.ru/dnl/11785>, дата обращения 5.12.2017
17. Трамвай: мировой опыт//URL: http://www.moscowlrt.ru/world_experience.html, дата обращения 15.11.2017
18. Metro, light rail and tram system in Europe// сайт SUTP Международного союза работников общественного транспорта URL:http://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/errac_metrolr_tramsystemsineurope.pdf, 5.12.2017

19. А.С. Морозов, В.Э. Свириденков, О современном подходе к легкорельсовому транспорту// URL: <http://www.moscowlrt.ru/64.html/> дата обращения 12.10.2017
20. Пол ниже, скорость выше// Легкорельсовый транспорт, тематическое приложение к газете «Коммерсант» №3 от 20.08.2014, с.11
21. Легкорельсовый транспорт, тематическое приложение к газете «Коммерсант» №33 от 20.08.2014, с.9
22. Е.П.Дудкин, В.А.Черняева, Области эффективного применения рельсового городского транспорта и возможности их расширения// Транспорт Российской Федерации, спец. Выпуск «Государство и транспорт», 2015г., с.48-51
23. Городской транспорт в зеркале экологии// [Электронный ресурс]: электрон. данные. - Москва: Научная цифровая библиотека PORTALUS.RU, 29 сентября 2004. – URL: http://portalus.ru/modules/ecology/rus_readme.php?subaction=showfull&id=1096468740&archive=&start_from=&ucat=&, дата обращения: 27.11.2017
24. Электротранспорт и экология. Взгляд на проблему // <http://electrotransport.ru/ussr/index.php?topic=74.msg426#msg426>
25. Rob van der Bijl ,Axel Kuehn, Tramtrain: the 2nd generation new criteria for the «ideal tramtrain city», //URL: <https://www.lightrail.nl/TramTrain/tramtrain.htm>, дата обращения 12.10.2017
26. В.И.Уткин, Д.С.Тягунов, О.Л.Сокол-Кутыловский, Т.Е.Сенина, Искажение геомагнитного поля электромагнитным шумом низких частот техногенного происхождения.//Вестник КРАУНЦ. Науки о земле, 2010 №1, вып.15 с. 216-223
27. Алексей Федчишин, Влияние транспорта на здоровье человека//URL: <https://gamma7.m-l-m.info/zashhita-ot-elektromagnitnogo-izlucheniya/vliyanie-elektromagnitnogo-izlucheniya-na-cheloveka/elektrotransport/>, дата обращения 7.12.2017
28. Транспорт// сайт Без ЭМИ, URL: <http://bez-emi.ru/transport>, дата обращения 7.12.2017
29. World metro figures. Statistics brief, 2014 outlook and focus on automated lines// URL: http://www UITP.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/UITP-Statistic%20Brief-Metro-A4-WEB_0.pdf, дата обращения 17.12.2017
30. What is the largest metro system in the world?//URL: <http://www.citymetric.com/transport/what-largest-metro-system-world-1361>, http://www.statdata.ru/largestcities_world, дата обращения 17.12.2017

31. Нагорный С.Я., Лакова Н.Н. Русанов И.В., Особенности инженерно-геологического обоснования проектирования строительства сооружений метро больших городов России // Подземный эксперт: информационный портал о подземном строительстве, URL; <http://undergroundexpert.info/issledovaniya-i-tehnologii/nauchnye-stati/obosnovanie-proektirovaniya-metro>, дата обращения 11.12.2017
32. Ежедневное воздействие шума метро на ваш слух//газета Газета «Метро», 4.04.2013 г
33. Олег Макаров, 10 транспортных причуд: самый экзотический общественный транспорт // URL: <https://www.popmech.ru/technologies/10059-10-transportnykh-prichud-samuyu-ekzoticheskiy-obshchestvennyy-transport/>, дата обращения 12.12.2017
34. URL: www.schwebbahn.de/geschichte-technik/daten-fakten, дата обращения 12.12.2017
35. Все самое интересное о поездах на магнитном подвесе // URL: <http://elektrik.info/main/fakty/63-vse-samoe-interesnoe-o-poezdakh-na.html>, дата обращения 12.12.2017
36. Е. Роткевич, Первые в России левитирующие поезда полетят из Петербурга в Москву// URL: <http://www.online812.ru>, дата обращения 14.12.2017
37. НАБИТАТ 2016 http://www.europeanhabitat.com/wp-content/uploads/2016/03/19-Transport-and-Mobility_rus.pdf, дата обращения 5.04.2016
38. Р.Л.Петров, Насколько реальны заявленные показатели расхода топлива и эмиссии CO₂ для гибридных автомобилей //Журнал автомобильных инженеров №2(91)2015 с.45-50
39. Wilhelm Lerner, The Future of Urban Mobility, [Электронный ресурс] // URL: http://www.adlittle.com/downloads/tx_adlreports/ADL_Future_of_urban_mobility.pdf дата обращения 5.07.2017
40. World cities report 2016// Электронный ресурс, URL: <http://wcr.unhabitat.org/main-report/>, дата обращения 18.12.2017
41. Транспорт и здоровье //SUTP [Электронный ресурс] URL: http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A_Sourcebook/SB5_Environment%20and%20Health/GIZ_SUTP_SB5g_Urban-Transport-and-ealth_RU.pdf
42. Связанное с транспортом воздействие на здоровье с особым вниманием к детям// THE PER, [Электронный ресурс]URL: www.theper.org/documents/2005/2005-6-R.pdf, дата обращения дата обращения 15.04.2017

43. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году» //официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, URL: <http://www.mnr.gov.ru/gosdoklad-eco-2015/> дата обращения 17.04.2017
44. IEA, 2008. World Energy Outlook 2008// Geneva.International Energy Agency, URL: <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2008-1994/weo2008.pdf>, дата обращения 17.04.2017
45. ЕС, 2007d. Green Paper: Towards a new culture for urban mobility. COM(2007) 551 final. Brussels 25.9.2007 // Электронный ресурс URL: file:///C:/Users/user/Downloads/MEMO-07-379_EN.pdf
46. The European environment — state and outlook 2010, : synthesis report// Электронный ресурс URL: <file:///C:/Users/user/Downloads/SOER-Synthesis-2015-EN-final-web.pdf>,дата обращения 19.04.2017
47. Трофименко Ю.В., Экология в транспортной отрасли - современные возможности развития/доклад на Международной практической конференции Эффективное управление транспортными системами, 24.08.2017, Астана, URL: http://docs.wixstatic.com/ugd/15671a_5c9566a4ef744cfdb7f27009583735c7.pdf, дата обращения 15.09.2017
48. Леванчук А. В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных дорог // Интернет-журнал Науковедение. 2014 №1 (20), URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-okruzhayushey-sredy-produktami-ekspluatatsionnogo-iznosa-avtomobilnyh-dorog>, дата обращения 17.04.2017
49. Н.Г.Птицына, Дж. Виллорези, Л.И.Дорман, Н.Юччи, М.И. Тясто-Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья //Успехи физических наук - 1998 том 168 - №7 - С.767-779
50. Александров А.А., Архаров И.А., Емельянов В.Ю., Деньги на ветер// Журнал «Современная АЗС», 2005 г. №№10, 11,12
51. Кисуленко Б.В., Теренченко А.С.,Кутенев В.Ф., Козлов А.В.. Оценка эколого-экономического эффекта от утилизации автотранспортных средств/Журнал автомобильных инженеров. №6, 2005, url: <http://www.aae-press.ru/j0056/art011.htm>, дата обращения 14.09.2017

Список публикаций по теме в 2017 году

- 1) *Белый О.В.* Фундаментальные проблемы построения единой транспортной системы страны. СПб: Наука, 2017. – 127 с.
- 2) *Барина Л.Д., Забалканская Л.Э.* Негативное воздействие транспорта на здоровье жителей мегаполиса // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. № 5. Ч. I. С. 32-35.
- 3) *Белый О.В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э.* Экологические аспекты устойчивого развития городской транспортной системы // Транспортное планирование и моделирование: Сб. материалов II Международной научно-практической конференции. СПб: СПбГАСУ, 2017. С. 45-49.
- 4) *Белый О.В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э.* Проблемы и перспективы применения альтернативных источников энергии для автомобильного транспорта // Транспорт: наука, техника, управление / Сб. ВИНТИ РАН (в печати)