

УДК: 338.14:656.13(1-21):621.43.06:504.3.064.36

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

**МУСИЕНКО Тамара Викторовна, д-р полит. наук, канд. ист. наук, проф.<sup>1</sup>,**

**ЛОЖКИН Владимир Николаевич, д-р техн. наук, проф.<sup>2</sup>,**

**ЛОЖКИНА Ольга Владимировна, д-р техн. наук, канд. хим. наук, доц.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Заместитель начальника университета по научной работе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Кафедра пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Кафедра физико-химических основ процессов горения и тушения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России», Санкт-Петербург, Россия

Адрес для корреспонденции: В.Н. Ложкин, 196105, Московский пр. 149,  
Санкт-Петербург, Россия

Т.: +7 921 777 73 04. E-mail: vnlojkin@yandex.ru

### **Аннотация**

Предметом исследования является финансово-экономическое прогнозирование в сфере стимулирования контроля загрязнения городской воздушной среды. Работа имеет своей целью разработку нового подхода прогнозирования снижения экологического ущерба со стороны транспортного сектора от внедрения «зелёных» технологий. В отношении загрязнения воздуха: по результатам критического анализа европейских исследовательских проектов ExternE и COPERT были разработаны оригинальные оценки в натуральных и стоимостных показателях «внешних издержек» (ущербов), основанные на методологии отслеживания «пути негативного воздействия». Оценки «внешних издержек» получены в соотнесении на 1 кг стандартных типов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ): PM, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HC и др. Ущерб на единицу условной продукции в соотнесении на 1 кг ЗВ, различающиеся для городских и загородных районов, могут быть легко преобразованы в ущербы на километр пройденного транспортным средством пути, если для рассматриваемого транспортного процесса обоснованы репрезентативные значения удельных выбросов ЗВ в г/км. Затраты на единицу условной продукции обновляются ежегодно с учётом изменений цен, средней прибыли и т.д. Метод внешних издержек используется на регулярной основе для учёта воздействия на окружающую среду при анализе издержек и положительных эффектов от реализации инфраструктурных проектов в Санкт-Петербурге.

**Ключевые слова**

Финансово-экономическое прогнозирование, город, атмосфера, транспортный сектор, загрязняющие вещества, экологический ущерб, «зелёные» технологии.

UDC: 338.14:656.13(1-21):621.43.06:504.3.064.36

## **THE METHOD OF FORECASTING THE ENVIRONMENTAL COSTS OF THE TRANSPORT SECTOR IN ST. PETERSBURG**

**MUSIENKO Tamara Viktorovna, Dr of Polit. Sci., PhD of Historic. Sci., Professor<sup>1</sup>,  
LOZHKIN Vladimir Nikolaevich, Dr of Tech. Sci., Professor<sup>2</sup>,  
LOZHKINA Olga Vladimirovna, Dr of Tech. Sci., PhD of Chemic. Sci., Associate Professor<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Deputy Head of the University in the field of science, Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, S. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Department of fire, rescue equipment and automobile economy, Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, S. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Department of Physical and Chemical Fundamentals of Combustion and Quenching, Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, S. Petersburg, Russia

Address for correspondence: V.N. Lozhkin, 196105, Moscow avenue 149, S. Petersburg, Russia  
T.: +7 921 777 73 04. E-mail: vnlojkin@yandex.ru

**Abstract**

The subject of research is financial and economic forecasting in the field of control of urban air pollution. The work has as its objective the development of new approaches using forecasts to decrease environmental costs from the side the transport sector to «green» technology. For air pollution: following the results of the European research projects Extern E and COPERT new estimates based on the «impact pathway» methodology have been established. Estimates are obtained per kg of the standard types of emissions: PM, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HC etc. The unit costs per kg, which are different for emissions in urban and rural areas, can easily be transformed to costs per vehicle per km if representative emission factors in g/km are available for the traffic in question. The unit costs are updated yearly with the changes in prices, average income, etc. The external cost methods are used on a routine basis for taking into account environmental effects in Cost Benefit analyses of infrastructure projects in in St. Petersburg.

**Keywords** Financial and economic forecasting, city, atmosphere, transport sector, pollutants, environmental costs, «green» technologies.

**Введение.** Для сохранения природной среды нынешнему и будущим поколениям Всемирная конференция ООН по окружающей среде и развитию цивилизации, прошедшая в Рио-де-Жанейро в 1992 году [1], обосновала фундаментальные принципы эволюции человечества, вошедшие в итоговый документ «Повестка действий на XXI столетие». Соблюдение принципов

устойчивости цивилизации позволило добиться значимых результатов в области уменьшения техногенного влияния на окружающую среду.

Однако на урбанизированных территориях РФ и мира, в крупных городах на протяжении последних 20–30 лет вместе с отмеченными положительными тенденциями наблюдаются случаи высокого сверхнормативного загрязнения воздушной среды поллютантами [2; 3], выделяющимися с выхлопными газами силовых установок транспортных средств и выбросами от теплоэлектростанций, обеспечивающих в том числе функционирование городского электротранспорта, что вызывает повышенную заболеваемость городского населения [4].

Для адекватного научного анализа и решения возникшей проблемы потребовался новый комплексный подход численного контроля загрязнения воздуха городским транспортом на междисциплинарной методологической основе финансово-экономических оценок ожидаемых ущербов негативного воздействия и эффективности применения «зелёных» технологий.

**Цель исследования.** Разработка и апробация на примере Санкт-Петербурга новой комплексной методологии контроля негативного воздействия всех видов транспорта (автомобилей и, в эквиваленте выбросов теплоэлектростанций, – трамваев, троллейбусов, поездов метрополитена) на городское население и среду обитания с использованием передового отечественного и зарубежного опыта моделирования процессов мониторинга и применения финансово-экономических информационных технологий в предметной области исследований. Это позволит принимать адекватные управленческие решения по развитию городского транспорта и обеспечению его безопасности на государственном и региональном уровнях в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Математическая модель оценки ущерба, причиняемого выбросами от городского транспорта населению и объектам окружающей среды, построена нами по методологии последовательного отслеживания «пути негативного воздействия».

На рис. 1 показана маршрутная схема реализации нового подхода оценки издержек общества от загрязняющих веществ городского транспорта.

Новый подход расчёта издержек базируется на европейской методике *Externe* [5] и допускает возможность оценки в денежном выражении ущерба обществу, который не учтён финансовыми отношениями «товар – деньги» (как бы не несёт ответственности в формировании «себестоимости продукции», что и подразумевает понятие «внешние»). Прогноз выполняется для альтернативных

сценариев развития транспорта на основе апробированных международных методологических принципов [6].

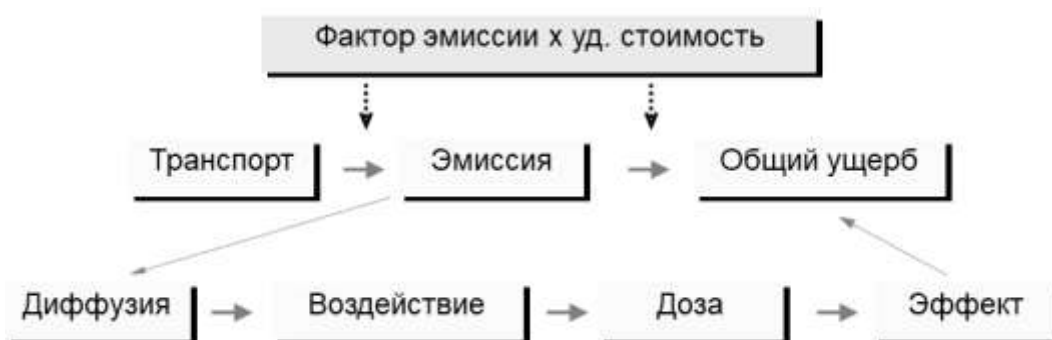


Рис. 1. Маршрутная схема оценки ущерба от загрязнителей городского транспорта

Полученная в результате численного моделирования финансовая оценка ущерба от транспортных загрязнителей выражается в форме отношения стоимостной оценки ущерба (в евро или рублях) к 1 кг выбросов загрязняющих веществ. Опасность воздействия веществ на человека, инфраструктуру и климат оценивалась по критериям, показанным на рис. 2.

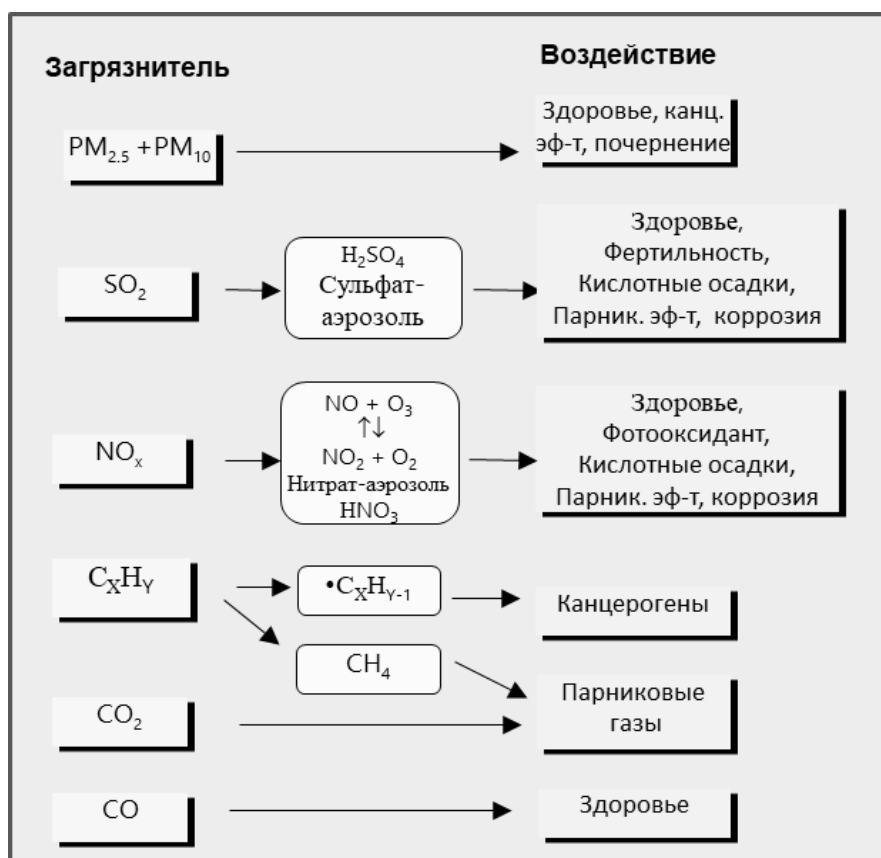


Рис. 2. Связь вредных веществ и атмосферных явлений с критериями воздействия

Формирование стоимостных оценок издержек (рис. 3) реализуется последовательно на четырёх уровнях (этапах). На 1-м уровне проводится количественный расчёт выбросов (тонн/год), на 2-м определяется величина воздействия (в значениях усреднённых величин концентраций веществ за год), на 3-м уровне производится трансформация воздействий в натуральные показатели ущербов (к примеру, параметра роста числа бронхолёгочных заболеваний).

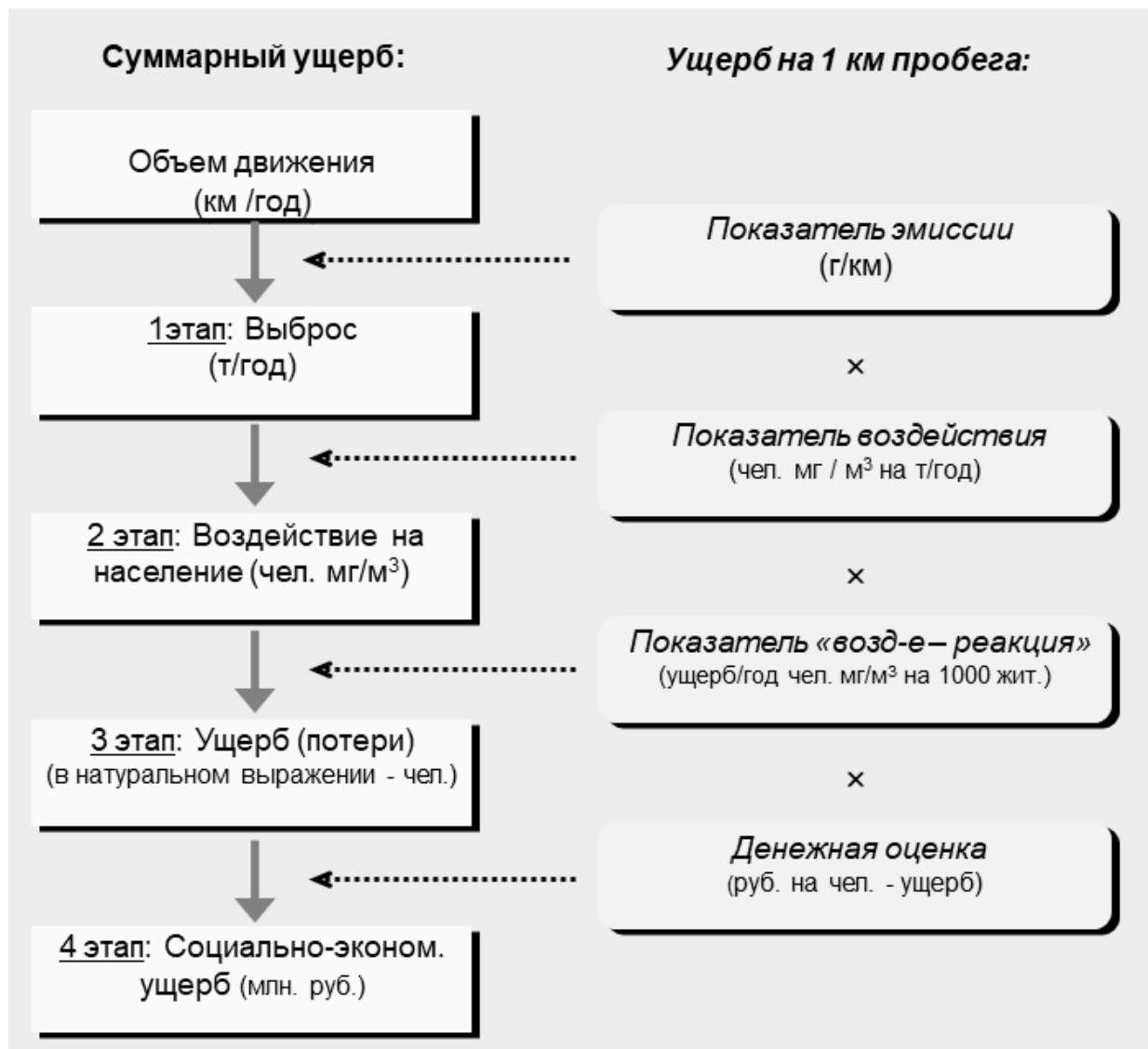


Рис. 3. Маршрутизация алгоритма стоимостного расчёта ущерба от транспортных выбросов на основе данных о произведённой им работе

Пояснения к рис. 3: «Объём движения» – перевозочная работа за год (пробег в км транспортными средствами за год); «Показатель эмиссии» – удельный выброс полплатана автомобилями на 1 км пробега, г/км; «Выброс» –

выброс полплатана за год, т; «Показат. воздействия» – подвергшееся воздействию число людей на 1000 жителей в результате опасного содержания ( $\text{мг/м}^3$ ) поллютанта, накопленного при его выбросе в объёме 1 т за год; «Возд-е на населен.» – подвергшееся воздействию число людей в результате опасного содержания поллютанта, накопленного при его выбросе в объёме 1 т за год; «Показат. Возд-е-Реак-я» – число пострадавших на 1000 жителей от воздействия опасного содержания поллютанта, накопленного от его выброса в воздух за год в т (это может быть число человек на 1000 жителей, заболевших, например, астмой); «Денежная оценка» – ущербы (издержки) в стоимостных показателях, руб., отнесённые к одному пострадавшему, чел. за год (это могут быть денежные средства, потраченные на лечение, например, от астмы одного человека в год); «Социальн. ущерб» – общий ущерб от всех пострадавших, млн руб. (это могут быть деньги, затраченные на оказание помощи всему населению пострадавшему, например, от астмы за год).

На 4-м уровне параметры в натуральном выражении переводятся в стоимостные. В этой операции обеспечивается отслеживание пути негативных влияний. По каждому критерию, выражающему ту или иную взаимосвязь, даются оценки по максимальному, минимальному и среднему уровню для уточнения степени неопределённости каждой взаимосвязи.

Параметры издержек «доза – ответ» в натуральных показателях ущерба человеку определялись по доступной статистической и социально-демографической информации (сведения о численности и структуре популяции, показателях смертности, респираторных заболеваниях, бронхитом, астмой) и по надёжным зарубежным данным, репрезентативным к социально-экономическим условиям в Санкт-Петербурге. Внешние издержки от действия поллютантов рассчитывались на основе методологии и информационных сведений «*ExternE*» [5] по летальным последствиям, хроническим заболеваниям; действию на сельскохозяйственные культуры, лесные и парковые хозяйства (по сокращению доступных угодий), разрушению зданий и коррозии металлоконструкций, изменению климата («парниковые явления»). По методике [6] (табл. 1) определялись социальные издержки от действия опасных веществ на население с учётом характера ущерба и приблизительных затрат на его компенсацию. По Санкт-Петербургу была дана оценка внешних издержек путём анализа стоимости платных услуг в амбулаторных учреждениях, затрат на лекарства с учётом средней заработной платы за месяц (по перечисленным видам ущерба).

**Таблица 1. Финансовые показатели внешних издержек от вида нарушения здоровья (по результатам авторских исследований и данным [5])**

Виды внешних издержек по нарушению здоровья	Ущерб, € (2000 г.) <i>Externe (EC)</i>	Ущерб, € (2015 г.) <i>Externe (EC)</i>	Ущерб, руб. (2016–2017), СПб
Стационарное больничное обслуживание	Около 6600	Около 7920	Около 170000*
Амбулаторная помощь по восстановлению здоровья	Около 187	Около 224	Около 1500*
Заболевания бронхитом	Около 138	Около 147	Около 6000*
На день потери трудоспособности ( <i>restricted activity days</i> )	Около 62	Около 75	Около 1900
Острое проявление заболевания астмой	Около 31	Около 43	Около 1000
Периоды проявления симптомов респираторных недугов ( <i>symptom days</i> )	Около 6.3	Около 7.5	Около 1500

*Пояснения:* \* Оказание медицинской помощи в платных лечебных организациях и покупка пациентом лекарств на свои деньги (по данным в Санкт-Петербурге).

С позиции монетарного выражения внешние издержки характеризуют ущерб благосостоянию для человека. Для отдельных типов ущерба (например, агрономическим товарам, лесопарковым хозяйствам, объектам инфраструктуры) могут применяться цены рынка при расчёте общего ущерба. Для внерыночных типов издержек (особо – по нарушению здоровья или летальным исходам) могут применяться оценки в форме добровольной финансовой компенсации или готовности принять риски нанесения вреда гражданами.

Приведённые в табл. 2 данные усреднены для Европейского союза [5] и для Санкт-Петербурга [6]. Они обоснованы тем, что нами использовались адекватные данные статистики, результаты демографических и экономических исследований других авторов и организаций. Финансовые оценки других типов издержек от действия загрязнителей транспорта осуществлялись по методике *Externe* [5] на основе внутреннего регионального продукта (ВВП – общей стоимости товара и услуг, обеспеченной городской администрацией за год с учётом инфляции).

В отношении электрического городского транспорта в оригинальном подходе использована упрощённая модель расчёта выбросов в сравнении с автотранспортом. В ней учитывались два вида железнодорожных составов, а

именно, пассажирские и товарные с дизельным приводом. Для каждого из учитываемых категорий транспорта назначалось одно условное транспортное средство с некими усреднёнными, в пределах категории, эксплуатационными экологическими свойствами. Для электрического транспорта (троллейбусы, трамваи, электрички наземные и метрополитена) оценки выбросов в воздушную среду производились опосредованно – по CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM, в усреднённом эквиваленте удельным выбросам этих веществ электростанциями, работающими на углеводородном топливе.

Для контроля и прогноза выбросов автотранспортом за год (валовых выбросов) обоснована и адаптирована для условий РФ методика Европейского союза (ЕС) COPERT-4. Она является обязательной к применению во всех странах ЕС и широко применяется в других государствах для расчёта выбросов поллютантов от автотранспорта, включая парниковые газы [7]. Совершенствование методологии COPERT-4 организовано европейским Агентством по окружающей среде (ЕЕА) в координации с европейским Центром по загрязнению атмосферы и уменьшению последствий от изменения климата. Научное обоснование модели осуществляется объединённым исследовательским Центром ЕС.

**Результаты исследования.** Применение разработанного метода продемонстрировано на примере прогноза уменьшения экологического ущерба в результате внедрения природоохранных технологий на транспорте в Санкт-Петербурге. Как ранее было отмечено, учёт ущерба при решении экологических проблем на электрическом транспорте (троллейбусы, трамваи, электрички, метро) и на железнодорожных тепловозах рассматривался в упрощённом виде. Постановка задачи в таком виде была оправдана двумя обстоятельствами: во-первых, по данным современных исследований [2; 4] в загрязнении атмосферы городов в РФ на долю автотранспорта относят 80–90 %; во-вторых, по автомобильному транспорту, в отличие от других типов транспортных средств, необходимые для расчёта исходные данные более доступны.

Математическая модель информационного процесса прогнозирования экологических ущербов осуществлялась в форме последовательной организации расчётов:

- валовых (годовых) выбросов вредных (загрязняющих) веществ от транспорта в долгосрочном временном интервале планирования;
- внешних экологических издержек (ущерба) от транспорта, наносимых валовыми выбросами загрязняющих атмосферу веществ населению города,

городским инфраструктурным объектам и влияния последних на изменение климата через «парниковый эффект».

Демонстрационные сценарии долгосрочного развития транспорта в Санкт-Петербурге были обоснованы реально планируемыми сроками внедрения природоохранных мероприятий и технологий [4] на период прогноза 2015–2030 гг. при следующих допущениях:

1) исходный вариант изменения численности, возрастной и типажной структуры автотранспорта в Санкт-Петербурге на долгосрочную перспективу устанавливался на основе анализа закономерностей изменения динамики автопарка, исследованной за период наблюдений с 2003 г. по 2015 г.;

2) сроки введения и эффективность от внедрения природоохранных технологий на транспорте, в частности, стандартов сертификации Евро 3 – Евро 5, принимались с учётом действующих и перспективных требований технических регламентов по выбросам вредных (загрязняющих) веществ с выхлопными газами и по качеству автомобильного бензина, газового и дизельного топлива.

В виртуальных сценариях принималась во внимание перспектива перевода легкового транспорта на двигатели с воспламенением от сжатия, газодизельные процессы, работа транспорта на природном и сжиженном нефтяном газах в РФ. В оценках предотвращённых ущербов принималось допущение о том, что большегрузные автомобили, автобусы среднего и высокого классов, эксплуатируемые в настоящее время в Санкт-Петербурге на бензине, будут постепенно заменены такими же по пассажиро- вместимости и грузоподъёмности, но оснащёнными двигателями с воспламенением от сжатия. Конкретно проанализированы сценарии.

**Сценарий 1** – функционирование транспорта в соответствии с базовыми принципами изменения численности, возрастной и типажной структуры автотранспорта в Санкт-Петербурге при сохранении доли автомобилей, работающих на альтернативных топливах, в пределах 1,5–3%.

При обосновании **сценария 2** вместе с базовыми принципами заложены «поддерживающие мероприятия», опубликованные в проекте транспортной стратегии РФ до 2030 года, от 15.01. 2013 г. (см. табл. 2).

В обосновании **сценария 3** вместе с базовыми принципами заложено увеличение перевозок пассажиров общественными видами транспорта с 5,0% (2015 г.) до 12,0% (2030 г.) и соответствующее ему уменьшение использования личного транспорта (см. табл. 3).

**Таблица 2. Показатели сценария 2**

Тип транспорта	Един. изм.	2010	2011	2015	2018	2020	2024	2030
% альтернативных горючих в общем количестве расходуемого топлива								
- автотранспорт	%	~3	~4	~9	~14	~20	~26	~30
% парка транспортных средств с экологически чистыми энергетическими установками								
- автотранспорт	%	< 1-2	< 1-2	16-28	24-26	29-30	39-40	54-56

**Таблица 3. Показатели сценария 3**

Показатель	2010	2015	2020	2025	2030
% альтернативных горючих в общем количестве расходуемого топлива	~1	~3	~5	~7	~11
% увеличения перевозок пассажиров общественными видами транспорта относительно <i>исходного сценария</i>	-	5	7	9	12

**Сценарий 4** предполагал к 2030 году перевод всего парка эксплуатируемых ТС в соответствие с требованиями шестого экологического класса (Евро 6) по конструктивному исполнению при обеспечении топливом качества не ниже Евро 4 – Евро 5.

В табл. 4 приведены данные расчётов долгосрочного прогнозирования социального ущерба, обусловленного загрязнением воздуха от работы транспорта, по 4-м сценариям (от исходного 2010 г. до 2030 г.).

**Таблица 4. Долгосрочный прогноз ущерба от загрязнения воздуха выбросами от транспорта по 4 виртуальным сценариям (от исходного 2010 г. до 2030 г.)**

Год (сценарий)/показатель	У <sub>2010</sub> , млн. руб.Р	У <sub>2030</sub> , млн. руб.			
	2010(И)	2030(1)	2030(2)	2030(3)	2030(4)
Оксиды азота NO <sub>x</sub>	~15416	~14688	~14321	~14321	~2167
Оксид углерода CO	~53890	~1292	~17.5	~1190.0	~177
Углеводороды CH	~1421	~669.	~502	~586	~83
Твёрдые частицы PM	~788	~364	~406	~399.6	~44
Сернистый ангидрид SO <sub>2</sub>	~1534	~112.2	~59.8	~67.3	следы
ΣУ	~19216	~15852	~15252	~15392	~2646
ΣУ <sub>2010</sub> - ΣУ <sub>2030</sub> , млн руб.	-	~3364	~3964	~3825	~16644

Окончание табл. 4

	У <sub>2010</sub> , млн. руб.Р	У <sub>2030</sub> , млн. руб.			
		~17.5	~20.6	~19.9	~86
$\sum У_{2010} - \sum У_{2030}$ , %	-	~17.5	~20.6	~19.9	~86
$\sum У_{2030(1)} - \sum У_{2030}$ , млн руб.	-	-	~600	~461	~13206
$\sum У_{2030(1)} - \sum У_{2030}$ , %	-	-	~3.4	~2.9	~84

*Пояснения:* 2010(И) – исходное состояние транспорта на 2010 г., У<sub>2010</sub> – ущерб в 2010 г., У<sub>2030</sub> – ущерб в 2030 г.;  $\sum У_{2010} - \sum У_{2030}$  – уменьшение ущерба к 2030 г. относительно 2010 г.,  $\sum У_{2030(1)} - \sum У_{2030}$  – уменьшение ущерба к 2030 г. при реализации сценариев 2, 3, 4 по отношению к сценарию 1.

На рис. 4 в графической форме проиллюстрировано сокращение годового ущерба (внешних издержек) в процентном отношении для 4-х сценариев развития транспортной ситуации в Санкт-Петербурге на прогнозируемый 2030 г. по сравнению с базовым 2010 г.

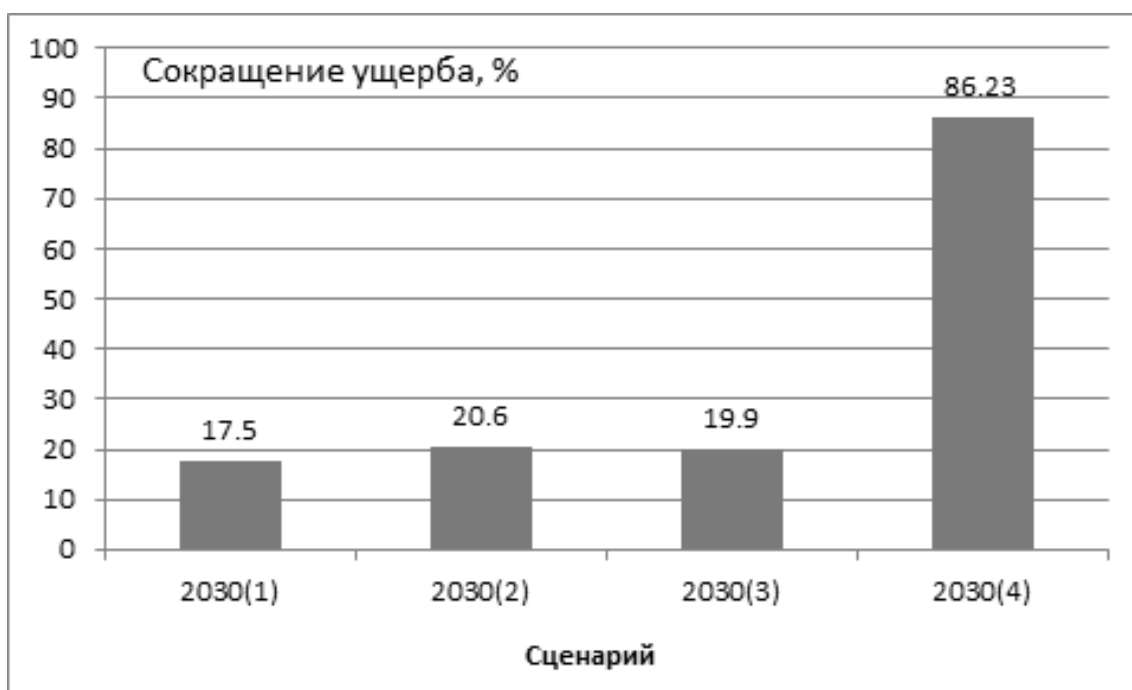


Рис. 4. Уменьшение годового ущерба (внешних издержек), %, для 4-х сценариев развития транспортной ситуации в Санкт-Петербурге на прогнозируемый 2030 г. в сравнении с базовым 2010 г.

Полученные расчётные данные (табл. 4, рис. 4) свидетельствуют об эффективности предложенных природоохранных («зелёных») технологий.

Анализ тенденций изменения внешних издержек (социального ущерба в ценах на 2016 год) на перспективу до 2030 года по сценариям 1–3 развития транспорта (на примере Санкт-Петербурга) позволяет отдать предпочтение по

эффективности (~3.4 млрд руб. на год) применению технологий, обеспечивающих экологические классы автотранспорта Евро 4 – Евро 6. Дополняющее мероприятие по переводу 30% парка легковых автомобилей и муниципальных автобусов на газ и (или) биологическое топливо вместе с увеличением объёма перевозок пассажиров общественными видами транспорта на ~12% относительно исходной ситуации в «базовом году» способно обеспечить дополнительное уменьшение ущерба соответственно на ~0.6 и ~0.45 млрд руб. – в сумме на ~1.05 млрд руб. Как свидетельствуют расчётные данные, наибольшее сокращение ущерба может быть достигнуто при реализации 4-го сценария («Euro 6»), подразумевающего внедрение наиболее экологически чистых технологий нейтрализации ОГ и наиболее чистых видов топлива, удовлетворяющих экологическим стандартам Евро 6 – 86.2 % ( $\approx 245$  млн € в год).

В табл. 5 представлены результаты оценок вклада отдельных поллютантов в общий социальный ущерб за год от загрязнения атмосферы выбросами колёсных транспортных средств в 2010-м исходном году и при внедрении мероприятий по 4 сценариям прогноза внешних издержек на 2030 год применительно к Санкт-Петербургу.

**Таблица 5. Вклад отдельных поллютантов, выбрасываемых в атмосферу транспортом, в оценке ущерба в 2010 исходном году и при внедрении мероприятий по 4 сценариям виртуального прогноза на 2030 год применительно к Санкт-Петербургу**

Сценарий	2010(И)	2030(1)	2030(2)	2030(3)	2030(4)
Оксиды азота NO <sub>x</sub> , %	~80.2	~92.7	~93.4	~93	~81.8
Оксид углерода CO, %	~0.1	~0.1	~0.1	~0.1	~0.1
Углеводороды CH, %	~7.4	~4.2	~3.4	~3.8	~3.2
Твёрдые частицы PM, %	~4.1	~2.3	~2.7	~2.7	~14.9
Сернистый ангидрид SO <sub>2</sub> , %	~8.2	~0.7	~0.4	~0.4	следы

Анализ данных табл. 5 позволяет сделать вывод о том, что сегодня и в перспективе до 2030 года эмиссия с выхлопными газами NO<sub>x</sub> транспортом в городах РФ приоритетно влияет на формирование внешних издержек (от 80 до 90%). К примеру, в государствах Западной Европы (Франция, Германия, Испания и др.), в городах которых значительна доля автотранспорта с двигателями воспламенения от сжатия, вклад PM в структуре внешних издержек может достигать значений от 25 до 50% [2].

Созданный оригинальный метод комплексного эколого-финансового контроля и прогнозирования загрязнения атмосферы поллютантами от городского транспорта стал эффективным инструментом проверки целесообразности внедрения конкретных организационных и технологических стратегий улучшения качества жизни населения в Санкт-Петербурге.

Так, расчёты с использованием ранее упомянутого программного продукта COPERT-4 дали возможность подтвердить эффективность повышения доли легковых автомобилей и муниципальных автобусов городского транспорта, работающего на сжиженном нефтяном, сжатом природном газе и биологическом топливе, к 2030 году на 30–54% (по стратегическому транспортному национальному проекту от 15.01.2013 г.: ожидаемое сокращение выбросов парниковых газов  $\text{CO}_2$  до 11 %,  $\text{N}_2\text{O}$  до 12%, токсичных веществ  $\text{CO}$  до 7,6%,  $\text{NO}_x$  до 1,8%, ЛОС и НМЛОС до 20%, тяжёлых металлов до 10–15%. Однако по объективным причинам это ожидаемо будет сопровождаться ростом массы выбросов  $\text{NH}_3$  и  $\text{CH}_4$ , соответственно, до 3 и 4% в сравнении со стратегией умеренного сценария 1.

Поддерживаемое на правительственном уровне радикальное реформирование нефтеперерабатывающей отрасли РФ на производство дизельного топлива по европейскому классу качества Евро 5 позволит ожидаемо снизить загрязнение атмосферного воздуха Санкт-Петербурга опаснейшим  $\text{SO}_2$  к 2030 году в 2–2,5 раза (по отношению к исходному состоянию отрасли на 2010 год).

В условиях ожидаемого роста к 2030 г., по отношению к исходному состоянию на 2010 г., парка городского транспорта Санкт-Петербурга в 1,75 раза максимальный экологический эффект возможен от комплексной меры – полное удовлетворение потребности в моторном топливе классов Евро 4 – Евро 5 и радикальное обновление эксплуатируемого парка автотранспорта до соответствия нормам Евро 4 – Евро 6: вероятно [4] уменьшить эмиссию парниковых газов  $\text{N}_2\text{O}$  до 9 раз,  $\text{CH}_4$  до 1,2–1,5 раза, токсичных веществ  $\text{CO}$  до 3 раз, ЛОС и НМЛОС до 2 раз,  $\text{NH}_3$  до 1,4 раза, ПМ до 2 раз. В то же время с 2010 к 2030 году объективно могут возрасти поступления в атмосферу Санкт-Петербурга тяжёлых металлов  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Zn}$  до 1,5–2 раз и сохранение на уровне 2010 г. эмиссии с выхлопными газами  $\text{NO}_x$ .

По нашим оценкам, уровень неопределённости вышепредставленных численных прогнозов финансово-экологических характеристик снижения внешних издержек (социального ущерба) для условий и допущений вирту-

ального моделирования применительно к Санкт-Петербургу может составить, в среднем, до 550%. Она выше, чем, например, ожидаемая неопределённость в европейских прогнозах [4] на 100–150 %. Тем не менее это вполне приемлемо, и с достаточной степенью уверенности можно говорить о соответствии полученных результатов цели и задачам проведённого исследования.

**Выводы.** Разработана методология мониторинга и прогнозирования финансово-экологических показателей опасного воздействия городского транспорта на население и среду обитания (выражаемая в натуральных и стоимостных показателях ущерба обществу), которая на научной основе позволяет установить закономерные связи между

- техническим состоянием эксплуатируемого парка и нормами стандартов на выбросы вредных (загрязняющих) веществ с выхлопными газами автотранспорта;

- получить достоверные сведения о

- качественных параметрах состояния атмосферного воздуха в долях превышения концентраций поллютантов относительно значений ПДК;

- характеристиках социального риска хронических заболеваний и летальности городского населения;

- наносимых поллютантами транспорта вероятных ущербов агрономической и лесопарковой городской макроэкономике;

- внешних издержках общества от эрозии зданий и металлоконструкций, от глобальных изменений климата при эмиссии в атмосферу поллютантов транспорта, –

она является оригинальным и эффективным инструментом информации для организаций, законодательных и управленческих городских структур, передовой общественности, заинтересованных в оздоровлении атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге и РФ.

Полученная на междисциплинарной финансово-технической основе новая научно-прикладная информация убедительно подтвердила целесообразность стратегического курса РФ на развитие конструкций и коренное обновление парка эксплуатируемого транспорта, направленное на внедрение экологически чистых способов каталитической нейтрализации и фильтрации выхлопных газов совместно с радикальной реконструкцией нефтеперерабатывающей отрасли для производства моторных топлив 4–6 экологических классов.

### Список источников

1. The Rio Declaration on Environment and Development: from The United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3–14 June 1992. Режим доступа: [http://www.unesco.org/education/pdf/RIO\\_E.PDF](http://www.unesco.org/education/pdf/RIO_E.PDF).
2. **Ложкин В.Н., Ложкина О.В.** Управление экологической безопасностью городского транспорта. Исследование эффективности управления экологической безопасностью городского транспорта на примере Санкт-Петербурга. – LAP Lambert Academic Publishing, 2011. – 195 с.
3. **Xie Y., Zhao B., Zhao Y., Luo Q., Wang S, Bai S.** Reduction in population exposure to PM<sub>2.5</sub> and cancer risk due to PM<sub>2.5</sub>-bound PAHs exposure in Beijing, China during the APEC meeting // Environ. Pollut. – 2017. – V. 225. – P. 338–345.
4. **Olga Lozhkina,, Vladimir Lozhkin, Igor Malygin** Estimation and Projection of the Effect of lternative-Energy Vehicle Technologies and Policy Measures on the Air Quality in St. Petersburg over 2010–2030. Proceedings of the International Conference on Innovative Applied Energy, 14–15 March 2019 Oxford, United Kingdom, Article 286 (ID: 546) / IAPE '19, Oxford, United Kingdom, ISBN: 978-1-912532-05-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.17501>.
5. EXTERNALITIES OF ENERGY «EXTERNE» PROJECT. Volume 2. METHODOLOGY. Method for Estimation of Physical Impacts and Monetary Valuation for Priority Impact Pathways. Bridport, Dorset, DT6 6RF UK. – 1995. – 408 p. – Available at: [http://www.externe.info/externe\\_d7/?q=node/6](http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/6).
6. External Costs of Transport in St Petersburg. Summary Report. Danish Ministry of Transport & Committee on Transport, St Petersburg Administration. – 2002. – 58 p.
7. Copert methodology. Available at: <http://emisiam.com/products/copert>.

### References

1. The Rio Declaration on Environment and Development: from The United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3–14 June 1992. Rezhim dostupa: [http://www.unesco.org/education/pdf/RIO\\_E.PDF](http://www.unesco.org/education/pdf/RIO_E.PDF).
2. **Lozhkin V.N., Lozhkina O.V.** Upravleniye ekologicheskoy bezopasnost'yu gorodskogo transporta. Issledovaniye effektivnosti upravleniya ekologicheskoy bezopasnost'yu gorodskogo transporta na primere Sankt-Peterburga. – LAP Lambert Academic Publishing, 2011. – 195 с.
3. **Xie Y., Zhao B., Zhao Y., Luo Q., Wang S, Bai S.** Reduction in population exposure to PM<sub>2.5</sub> and cancer risk due to PM<sub>2.5</sub>-bound PAHs exposure in Beijing, China during the APEC meeting // Environ. Pollut. – 2017. – V. 225. – p. 338-345.

4. **Olga Lozhkina,, Vladimir Lozhkin, Igor Malygin** Estimation and Projection of the Effect of Alternative-Energy Vehicle Technologies and Policy Measures on the Air Quality in St. Petersburg over 2010-2030. Proceedings of the International Conference on Innovative Applied Energy, 14–15 March 2019 Oxford, United Kingdom, Article 286 (ID: 546) / IAPE '19, Oxford, United Kingdom, ISBN: 978-1-912532-05-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.17501>.
5. EXTERNALITIES OF ENERGY «EXTERNE» PROJECT. Volume 2. METHODOLOGY. Method for Estimation of Physical Impacts and Monetary Valuation for Priority Impact Pathways. Bridport, Dorset, DT6 6RF UK. – 1995. – 408 p. – Available at: [http://www.externe.info/externe\\_d7/?q=node/6](http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/6).
6. External Costs of Transport in St Petersburg. Summary Report. Danish Ministry of Transport & Committee on Transport, St Petersburg Administration. – 2002. – 58 p.
7. Copert methodology. Available at: <http://emisla.com/products/copert.1>.