

На правах рукописи



Потапченко Тимур Дмитриевич

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА И ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ СОКРАЩЕНИЮ**

Специальность 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (транспорт, технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (МАДИ)

Научный руководитель:

ТРОФИМЕНКО Юрий Васильевич,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

ЕВСЕЕВ Олег Владимирович, доктор технических наук, научный руководитель ФГБУ «Научный центр по комплексным транспортным проблемам Министерства транспорта Российской Федерации»,

ВОРОЖНИН Владимир Сергеевич, кандидат технических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки, Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН (ИПЭ УрО РАН)

Ведущая организация:

Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта»

Защита состоится «19» февраля 2021 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 218.013.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ауд. Б2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного университета путей сообщения и на сайте www.usurt.ru.

Автореферат разослан _____ 2020 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по почте в адрес диссертационного совета Д 218.013.02.

Тел./факс: +7 (343) 221-24-44. E-mail: NSirina@usurt.ru.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук

Сирина Нина Фридриховна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационного исследования. С 2020 г. действует Парижское соглашение, направленное на выработку регулирующих мер по снижению выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу. В его рамках странам-участникам предписано оценить объёмы выбросов ПГ, сформировать и представить кадастр выбросов ПГ по секторам экономики (транспортный, топливно-энергетический, сельское хозяйство и т.д.). На основании полученных результатов планируется оценить вклад каждой страны и реализовать наиболее эффективные меры, снижающие выбросы ПГ без нанесения ущерба развитию экономики и окружающей среде в целом. Поэтому разработка методики определения выбросов ПГ транспортной системы региона и обоснование эффективности мероприятий по их сокращению является актуальной исследовательской задачей.

В России пока нет комплексных методик, позволяющих рассчитать объёмы выбросов ПГ от всех видов транспорта и объектов дорожного хозяйства. Их отсутствие не позволяет планировать устойчивое развитие транспортной системы страны и контролировать результаты реализации мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия транспортного комплекса на состояние окружающей среды.

Обязательное условие эффективности принимаемых мер, направленных на снижение выбросов ПГ транспортной системой региона, – верификация используемых при расчетах выбросов ПГ показателей транспортной работы. В настоящее время инструмента, позволяющего проводить такую верификацию, нет.

Актуальность исследования усиливается тем, что в России предпринимаются шаги по созданию системы углеродного регулирования, например, ввод обязательной отчетности предприятий дорожного хозяйства по объёмам выбросов ПГ (для дальнейшей оценки необходимого комплекса мероприятий, направленных на их снижение).

В настоящем исследовании задачи, связанные с формированием методики определения выбросов ПГ транспортной системы региона и верификации используемых показателей транспортной работы, рассматриваются с учетом несовершенства государственной статистики в области сбора данных по транспортному сектору и применительно к транспортной системе региона, включая объекты дорожного хозяйства. Результаты диссертации соответствуют общепринятым принципам проведения оценки выбросов ПГ, дополняют и развивают их и являются актуальными.

Степень разработанности темы исследования. Подходы к оценке выбросов ПГ транспортной системой сформированы в трудах зарубежных ученых

Д. Драйера, Д. Йохансона, Р. Карлсона, С. Сильверии, П. Стигсона. Современное представление о процессах формирования выбросов ПГ в транспортном комплексе рассмотрены в трудах отечественных ученых: В.А. Гинзбурга, И.Л. Говор, Д.Г. Замолодчикова, Ю.А. Израэля, Т.А. Косариковой, С.М. Семенова, Ю.В. Смирновой, Н.Е. Уваровой, А.В. Чемезова, Г.М. Черногаевой.

Принципы верификации используемых показателей транспортной работы с применением методов интеллектуального анализа данных рассмотрены в трудах С.С. Алхасова, П. Андерсона, К. Вротсоу, Е.С. Ильина, Л. Ксиань, Г.Я. Маркелова, Т.А. Нечай, А. Уотерсон. Большинство предложенных ими подходов не учитывает специфику сбора необходимой информации и ее отсутствие в рамках учета государственной статистики.

Однако вопросам оценки выбросов ПГ от транспортной системы регионов и объектов дорожного хозяйства, а также формированию инструмента, позволяющего проводить верификацию используемых показателей транспортной работы и полученных результатов с помощью методов интеллектуального анализа данных, уделено недостаточно внимания.

Цель диссертационной работы: совершенствование методики определения выбросов парниковых газов транспортной системы региона и обоснование эффективности мероприятий по их сокращению.

В диссертации поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Разработать методику определения и верификации выбросов ПГ транспортной системы региона и на ее основе обосновать мероприятия по сокращению выбросов ПГ.
2. Сформировать основные принципы определения выбросов ПГ транспортной системы региона с применением и совершенствованием трехуровневой методики оценки объемов выбросов ПГ от автомобильного транспорта и объектов дорожного хозяйства.
3. Определить перечень исходных данных, необходимых для проведения оценки выбросов ПГ от транспортной системы региона и объектов дорожного хозяйства.
4. Разработать новый методический инструмент верификации используемых показателей транспортной работы и полученных объемов выбросов ПГ с применением методов интеллектуального анализа данных.
5. Выполнить обзор мероприятий, направленных на сокращение выбросов ПГ от объектов транспортной системы региона.

6. На основании разработанной и усовершенствованной методики определения выбросов ПГ и интеллектуального анализа показателей транспортной работы оценить эффективность мероприятий, направленных на снижение выбросов ПГ транспортной системы региона.

Область исследований соответствует п. 6 «Защита окружающей среды от загрязняющего воздействия транспорта» Паспорта специальности 05.22.01.

Методология и методы исследования. В основу исследовательской работы положены методы теории численного расчёта объёма выбросов ПГ, системного прогнозирования, теории вероятностей, компьютерного моделирования и интеллектуального анализа данных.

Объектом исследования является транспортная система региона.

Предметом исследования является методика определения и верификации выбросов ПГ транспортной системы региона, необходимая для оценки мероприятий по сокращению таких выбросов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Предложена усовершенствованная трехуровневая методика определения выбросов ПГ, позволяющая проводить оценку выбросов ПГ не только от автомобильного транспорта, но и объектов дорожного хозяйства.

2. Сформирован перечень показателей транспортной работы, необходимых для проведения оценки выбросов ПГ, и на их основе предложен алгоритм проведения верификации используемых показателей с помощью методов интеллектуального анализа данных.

3. Определены наиболее эффективные алгоритмы методов интеллектуального анализа показателей транспортной работы, учитывающие специфику транспортного сектора.

4. Рассмотрена возможность применения методов интеллектуального анализа при проведении оценки эффективности мероприятий, направленных на сокращение выбросов ПГ, включая оценку новых мероприятий.

5. Выполнены численные эксперименты определения и верификации выбросов ПГ (на примере транспортной системы Санкт-Петербурга) и проведена оценка мероприятий направленных на сокращение выбросов ПГ.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке и усовершенствовании методического инструмента для расчетной оценки выбросов ПГ транспортной системы региона и верификации используемых расчетных показателей транспортной работы.

Практическая значимость работы заключается в создании универсального расчётного инструмента оценки объёмов выбросов ПГ транспортной системы региона, который объективно оценивает объем формируемых выбросов. С использованием предложенной методики определения и верификации используемых расчетных показателей транспортной работы и полученных объемов выбросов можно объективно и достоверно оценивать эффективность мероприятий по снижению выбросов ПГ транспортной системы региона. Разработанная методика легко адаптируется к оценке выбросов ПГ в любой транспортной системе различных регионов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Усовершенствованная трехуровневая методика определения выбросов ПГ, позволяющая оценивать выбросы ПГ не только от передвижных источников, но и объектов дорожного хозяйства.
2. Показатели транспортной работы, необходимые для оценки выбросов ПГ, и алгоритм проведения верификации используемых показателей с помощью методов интеллектуального анализа данных.
3. Алгоритмы методов интеллектуального анализа показателей транспортной работы, учитывающих специфику транспортного сектора.
4. Оценка эффективности мероприятий, направленных на сокращение выбросов ПГ, включая оценку новых мероприятий, с применением методов интеллектуального анализа данных.
5. Результаты численных экспериментов оценки и верификации выбросов ПГ на примере транспортной системы Санкт-Петербурга с оценкой мероприятий, направленных на сокращение выбросов ПГ.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечивается применением современных программ (Copert 4.1.1, WEKA, C 4.5.) с соблюдением требований стандартов, использованием аттестованных средств измерений, повторяемостью результатов измерений. Проверка результатов расчётов объёмов выбросов ПГ производилась графическим методом, верификация численного эксперимента осуществлялась сопоставлением данных компьютерного моделирования с ретроспективными данными. Достоверность теоретических положений, рекомендаций и выводов, изложенных в работе, определяется корректным использованием современных аналитических методов и методов численного расчёта.

Основные положения научно-квалификационной работы обсуждены и одобрены на Международной научно-технической конференции «Восьмые лужанские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса» (Москва, 2019), V Международной научно-практической конференции

«Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орёл, 2019), Пятой международной конференции связи, менеджмента и информационных технологий (ICSMIT 19) (Вена, 2019), IX Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, 2016), XII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, 2019).

Публикации. По теме научно-квалификационной работы опубликованы пять научных статей в рецензируемых научных изданиях, а также четыре статьи в других научных изданиях.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Текст диссертации содержит 145 страниц, 33 рисунка, 47 таблиц и два приложения. Список литературы состоит из 114 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы, излагаются цель, задачи исследования, научная новизна, практическая значимость, соответствие области исследований паспорту специальности, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ транспортного комплекса России как источника выбросов ПГ. Выявлено, что дорожный транспорт России служит основным и определяющим суммарный объём выбросов ПГ видом транспорта с неблагоприятным трендом изменения выбросов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Относительная доля различных видов транспорта в суммарном выбросе CO₂, т (2018 г.)

Анализ отечественных и зарубежных методик оценки объемов выбросов ПГ передвижными источниками и объектами дорожного хозяйства показал, что в их основе лежат требования руководящих принципов и указаний Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) уровней 1, 2 и 3, отличающихся степенью детализации исходных данных.

Анализ поля научных исследований в сфере разработки мероприятий, направленных на снижение выбросов ПГ передвижными источниками и объектами дорожного хозяйства, показал, что осуществление мер, направленных на сокращение выбросов ПГ, требует ряда механизмов стимулирования, которые по характеру воздействия на субъекты транспортной деятельности можно разделить на административно-правовые, экономические, информационные, технические.

По результатам анализа используемых на международном уровне расчетных методик определения объемов выбросов ПГ сделан вывод: основой проведения качественной оценки формируемых транспортным комплексом объемов выбросов и принятия эффективных мер по защите окружающей среды от загрязняющего воздействия транспорта является инвентаризация и верификация источников выбросов ПГ, поэтому применительно к транспортному комплексу Российской Федерации предложена структурированная схема основных этапов проведения инвентаризации выбросов ПГ (рисунок 2).

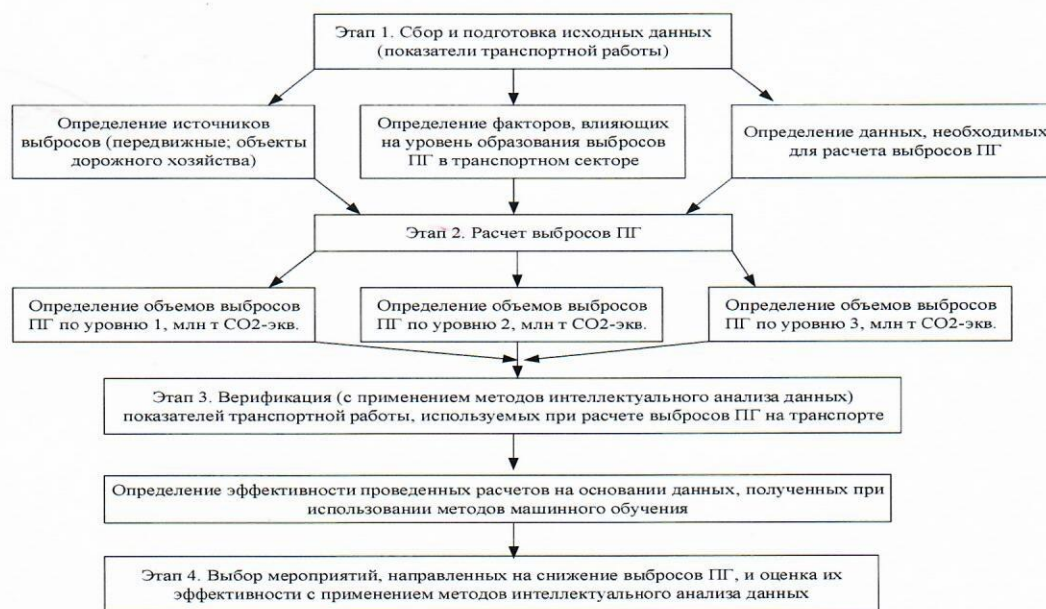


Рисунок 2 – Этапы проведения инвентаризации выбросов ПГ применительно к транспортному сектору Российской Федерации

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию методов оценки объёмов выбросов ПГ транспортной системы региона. Исходя из общемирового подхода к оценке объёмов выбросов ПГ передвижными источниками ее целесообразнее проводить по трем уровням, которые различаются степенью детализации данных. Формула, для передвижных объектов с уровнями детализации 1 и 2:

$$E_i = \sum_a \frac{(AD_a \cdot EF_a)}{10^3}, \quad (1)$$

где E – выбросы CO_2 , CH_4 или N_2O ; a – вид транспорта; AD_a – данные о потреблении топлива или другого энергоресурса типа a , ТДж/г., при выполнении грузовых или пассажирских перевозок; EF_a – коэффициент выбросов CO_2 при выполнении грузовых или пассажирских перевозок, кг/т·км или пасс.·км.

Для передвижных объектов с уровнем детализации 3, расчетная формула выглядит следующим образом:

$$E_i = \left(\sum_{a,b,c,d} (AD_{a,b,c,d} \cdot EF_{a,b,c,d}) + \left(\sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d} \right) \right) / 10^6, \quad (2)$$

где E – выбросы CO_2 , CH_4 или N_2O ; a – вид топлива (дизтопливо, бензин, природный или сжиженный нефтяной газ, электроэнергия); b – тип ТС; c – экологический класс; d – условия эксплуатации (городские или сельские дороги); $AD_{a,b,c,d}$ – годовой пробег по дороге типа d ТС класса b , работающих на топливе вида a (экологический класс c), км; $EF_{a,b,c,d}$ – коэффициент выбросов CO_2 , CH_4 или N_2O для ТС класса b , работающего на топливе вида a и имеющего экологический класс c на дороге типа d , г/км; $C_{a,b,c,d}$ – выбросы при пуске и прогреве двигателей (холодный пуск), г/год.

На уровне 1 используется минимальный набор исходных данных, а расчет выбросов ПГ выполняется при известной массе потребленного/сожженного топлива, без разделения на типы транспортных средств (ТС), также используются коэффициенты выбросов ПГ по видам моторного топлива. На уровне 2 расчет объёмов выбросов ПГ выполняется при известной массе сожженного топлива с разбиением по экологическим классам (возрасту) разных типов ТС, используются нормированные на единицу массы сожжённого топлива коэффициенты выбросов ПГ. На уровне 3 расчет объёмов выбросов ПГ ведется с учетом годовых пробегов с разбиением на экологические классы ТС.

Оценка выбросов ПГ дорожным хозяйством по упрощенной методике уровня 1 основывается на данных о потреблении разных видов топливно-энерге-

тических ресурсов при строительстве/реконструкции, содержании, ремонте автомобильных дорог разных технических категорий, коэффициентами эмиссии ПГ (CO_2 , N_2O , CH_4) от сжигания разных видов топлив. Расчет выбросов ПГ дорожным хозяйством по методике уровня 1:

$$E_i = \sum_a \sum_k \left(FC_{ak} \cdot EF_{aTCE} \cdot EF_{aNCV} \cdot EF_{i,a} \right) / 10^3, \text{ т/г.}, \quad (3)$$

где E_i – эмиссия парникового газа i , т/г.; FC_{ak} – общая масса израсходованного энергоресурса вида a на автомобильных дорогах k -й технической категории, т/год; EF_{aTCE} – коэффициент пересчета в тонны условного топлива по виду энергоресурса a , т у. т./т; EF_{aNCV} – коэффициент перевода в энергетические единицы по виду энергоресурса a , ТДж/т у. т.; $EF_{i,a}$ – коэффициент выбросов парникового газа i по виду энергоресурса a , т/ТДж.

Метод уровня 2 аналогичен методу уровня 1, но для расчета применяются региональные значения коэффициентов выбросов ПГ, базирующиеся на реальном содержании углерода в топливе.

Расчет выбросов ПГ дорожным хозяйством по методике уровня 2 производится по формуле:

$$E_i = \sum_a \sum_k \sum_j \left(L_{kj} \cdot m_{akj} \cdot EF_{aTCE} \cdot EF_{aNCV} \cdot EF_{i,a} \right), \quad (4)$$

где E_i – эмиссия парникового газа i , т/г.; L_{kj} – прирост протяженности автомобильных дорог k -й технической категории, построенных, отремонтированных, находящихся в эксплуатации в рассматриваемый год, км; m_{akj} – удельные выбросы ПГ на j -м этапе жизненного цикла (строительство, содержание, ремонт) дорог k -й категории, т/км протяженности; EF_{aTCE} – коэффициент пересчета в тонны условного топлива по виду энергоресурса a , т у. т./т; EF_{aNCV} – коэффициент перевода в энергетические единицы по виду энергоресурса a , ТДж/т у. т.; $EF_{i,a}$ – коэффициент выбросов ПГ i по виду энергоресурса a , т/ТДж.

Метод уровня 3 (при наличии исходных данных) при оценке энергозатрат и выбросов ПГ использует детальное моделирование и предполагает учет характеристик используемой транспортной техники, а также учет природно-климатических и других факторов.

Реализованная трёхуровневая модель оценки объёмов выбросов ПГ требует верификации полученных результатов потому, что расчёт производится по формулам с разным уровнем детализации исходных данных. Поэтому предлага-

ется верифицировать полученные результаты расчета объема выбросов ПГ передвижными источниками и объектами дорожного хозяйства с помощью методов машинного обучения.

В основе метода машинного обучения заложен алгоритм интеллектуального анализа данных. В рамках настоящего диссертационного исследования основная задача интеллектуального анализа сводится к созданию качественной базы данных содержащей информацию о показателях транспортной работы.

Нами выбраны три алгоритма машинного обучения, которые позволяют оценивать не только статистические данные, но и проводить прогнозную оценку изменений показателей транспортной работы.

1. Алгоритм С 4.5 (дерево решений) относится к классу логических методов. Основной подход заключается в объединении определенного количества простых решающих правил.

В диссертационном исследовании задача применения деревьев решений сводится к обработке большого количества исходных данных, необходимых для расчётов и поиска ошибки или нестандартных значений.

Алгоритм С 4.5 дерева решений разбивает набор данных на группы, где каждый конечный узел (лист) является решением (классом).

На каждом узле алгоритм С 4.5 выбирает показатель данных, который лучше всего разбивает данные на подмножества по полноте того или иного признака (разница в энтропии). Энтропию можно выделить следующим образом: если даны распределение вероятностей $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ и выборка S , то информация, переносимая этим распределением, также называемая энтропией P , дает

$$E = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i. \quad (5)$$

2. Алгоритм случайного леса (деревья решений). В алгоритме случайного леса поиск корневого узла и разделения узлов объектов происходит случайным образом, т.е. алгоритм формирует множество деревьев решений, и усредняет результат полученных результатов.

Соответственно, постановка задачи при использовании алгоритма случайного леса сводится к многократному обучению алгоритма. При этом для задачи классификации используется критерий iGain:

$$iGain(S) = H(s) - \sum_{v \in C} \frac{S_v}{S} H(S_v); \quad (6)$$

$$H(S) = -\sum_{c \in C} p_c \cdot \log_2(p_c), \quad (7)$$

где S_v – множество классов рассматриваемой задачи, а p_c – вероятность класса c для множества объектов S .

3. Алгоритм множественной линейной регрессии применим, когда результаты задачи являются числовыми.

В нашем случае постановка задачи применения линейной регрессии сводится к обработке большого объема исходных данных, выявлению ошибок, и прогнозированию того, как изменение показателей повлияет на итоговое значение выбросов ПГ.

Соответственно, необходимо вывести набор данных, которые в нашем случае носят числовой характер; допустим, что эти данные представлены следующим образом: $\{y_i, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\}$, где $i = 1$ до n . В таком случае модель линейной регрессии:

$$Y_i = \beta_0 + X_{i1}\beta_1 + X_{ik}\beta_k + e_i, \quad (8)$$

где $i = 1, 2, 3 \dots n$; Y_i – зависимая переменная; X_{ik} – независимая переменная для зависимой переменной Y_i ; β_k – неизвестные показатели (оцениваются по исходным данным); e_i – ошибки.

Таким образом, получена блок-схема работы математической модели методики оценки объемов выбросов ПГ от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства с методами верификации полученных значений (рисунок 3).

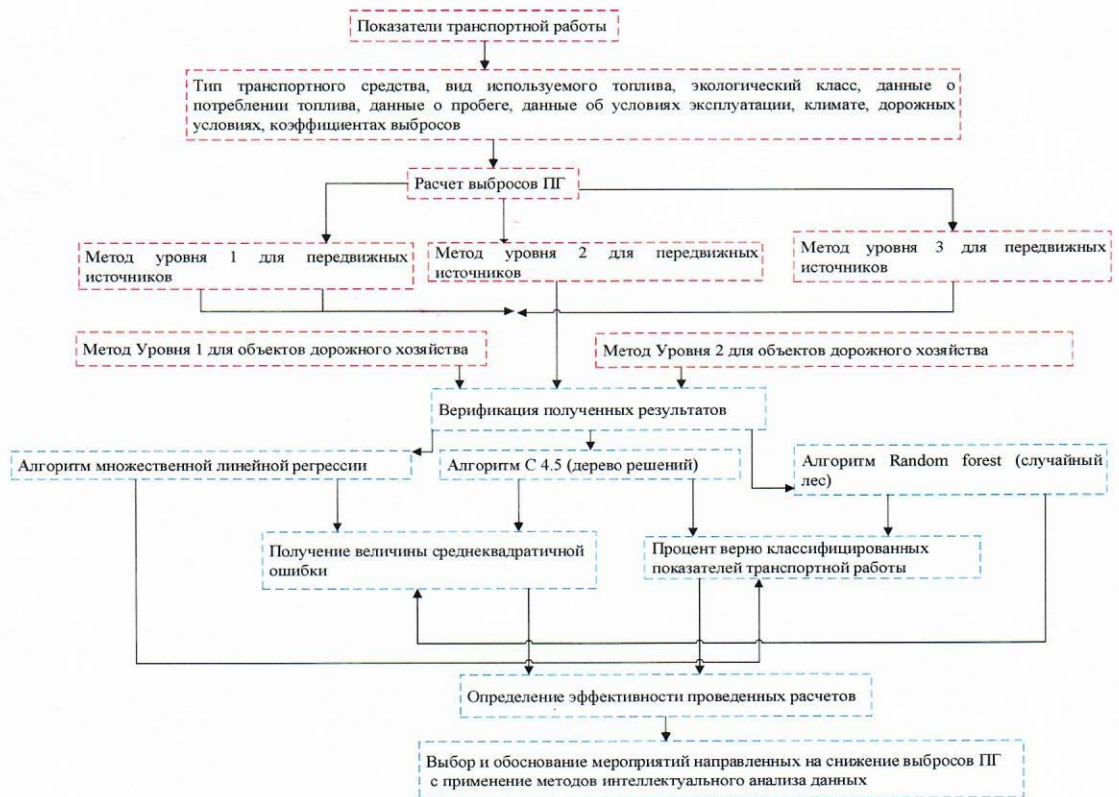


Рисунок 3 – Схема методики оценки выбросов ПГ от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства с методами верификации

В третьей главе представлены методика и результаты экспериментального исследования выбросов ПГ, формируемых передвижными источниками и объектами дорожного хозяйства. В качестве пилотного региона выбран Санкт-Петербург. Проверка методики проводилась за 2014–2018 гг. Наибольший вклад в формирование парникового эффекта вносят CO_2 , CH_4 и N_2O , поэтому расчеты проводились для трех основных газов, но оценка представлена в CO_2 -экв. для лучшей информативности.

На основании формул 1-4 и информации о показателях транспортной работы, полученных в рамках диссертационного исследования, на рисунке 4 представлена сравнительная характеристика выбросов ПГ, формируемых объектами дорожного хозяйства и передвижными источниками.

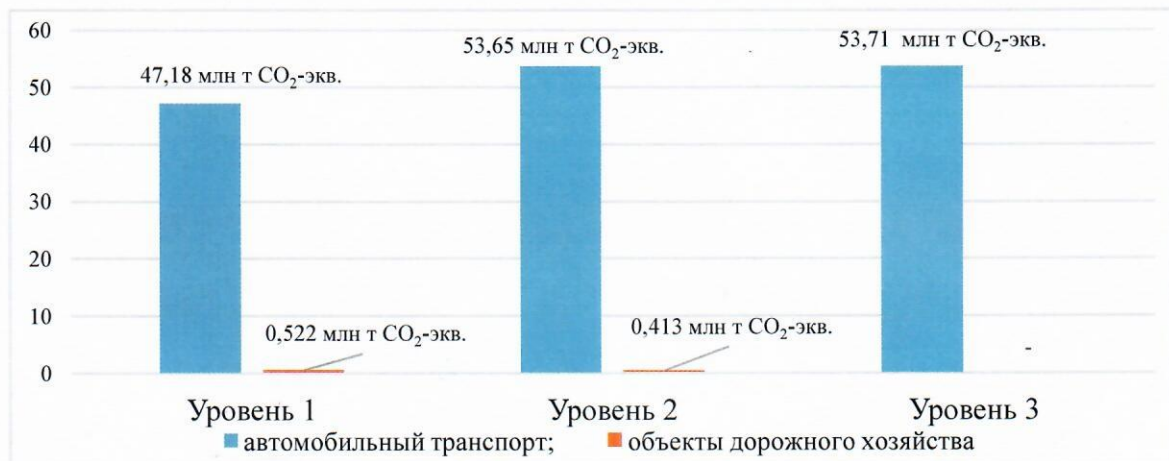


Рисунок 4 – Суммарные выбросы парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства пилотного региона млн т CO_2 -экв.

(Санкт-Петербург, 2014–2018 гг.)

Результаты расчётов указывают на низкое расхождение, то есть методики трёх уровней позволяют оценивать объёмы выбросов с высокой точностью. Далее с помощью методов машинного обучения проведена их верификация. За основу принято среднее арифметическое значение выбросов CO_2 , а именно, 51,514 млн т CO_2 -экв.; для подтверждения корректности полученного объема выбросов анализировался весь массив показателей транспортной работы для всех трех уровней расчета. Результаты представлены на рисунке 5.

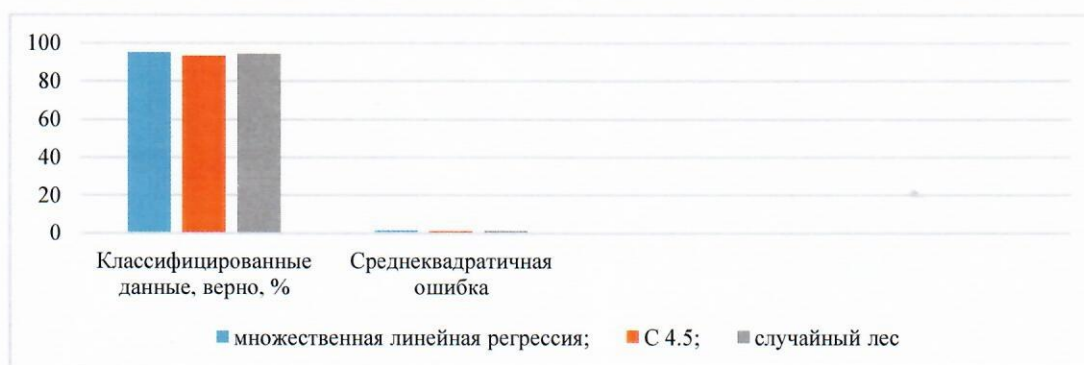


Рисунок 5 – Сравнительная диаграмма оценки эффективности алгоритмов интеллектуального анализа данных, применяемых для верификации выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства за 2014–2018 гг. для Санкт-Петербурга

Анализ показателей, используемых при расчёте, показал, что все три метода машинного обучения дают примерно одинаковый уровень верно классифицируемых показателей (94,2 %)

На основании представленной информации можно сделать вывод, что расчётный объём выбросов ПГ, равный 51,514 млн т CO₂-экв, имеет достоверность используемых данных 94,2 %.

Четвертая глава содержит результаты аналитических исследований по разработанной методике оценки объёмов выбросов ПГ от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства с применением методов интеллектуального анализа данных. Также в ней выполнены выбор и обоснование эффективности мероприятий по сокращению объёмов выбросов ПГ транспортной системы Санкт-Петербурга.

На первом этапе оценивались формируемые объёмы выбросов ПГ за 1990–2017 гг. Цель – получение информации о количестве выбросов и изучение динамики изменения их объёмов во времени. Результаты оценки объёмов выбросов ПГ и верификация полученных значений в 1990–2017 г. представлены на рисунках 6 и 7.

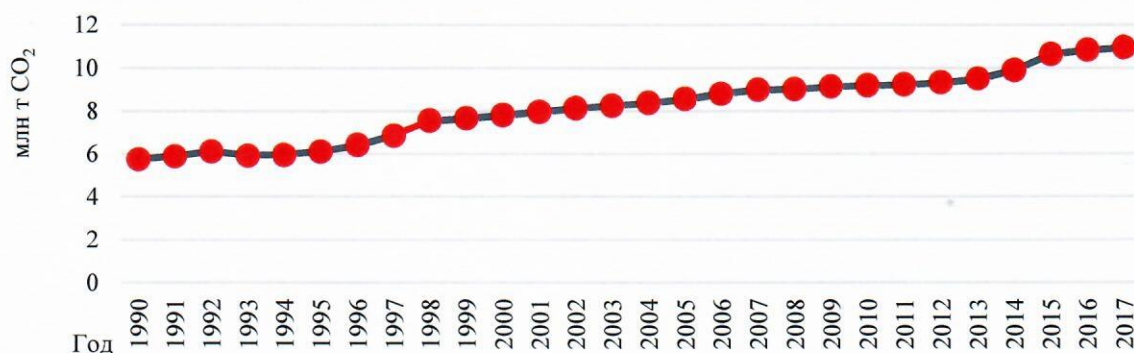


Рисунок 6 – Оценка выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства, 1990–2017 гг.

Далее полученные значения верифицированы с применением методов машинного обучения (рисунок 7). Данные, используемые при расчётах объёмов выбросов ПГ, имеют высокую степень достоверности (94 %).



Рисунок 7 – Оценка эффективности алгоритмов интеллектуального анализа данных, применяемых для верификации выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства, 1990–2017 г.

На основании прогнозных значений развития транспортной системы Санкт-Петербурга и зависимостей изменения динамики объёмов выбросов ПГ, установленных в оценке выбросов за 1990–2017 гг., оценены (спрогнозированы) выбросы парниковых газов в 2017–2030 гг. (рисунки 8, 9).

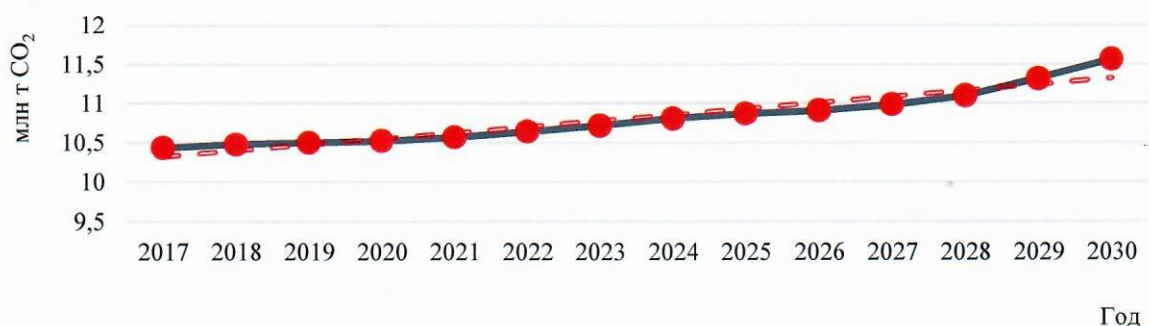


Рисунок 8 – Оценка выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства, 2017–2030 гг.



Рисунок 9 – Оценка эффективности алгоритмов интеллектуального анализа данных, применяемых для верификации выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства, 2017–2030 гг.

Итак, динамика объёмов выбросов ПГ в транспортном секторе Санкт-Петербурга показывает устойчивый рост, что подтверждается не только расчётом, но и верификацией полученных результатов. Для оценки эффективности мер, направленных на снижение выбросов ПГ, использовался набор тех же алгоритмов, что и для проведения верификации.

В качестве мероприятий, направленных на снижение объёмов выбросов ПГ, выбраны экономические и административно-правовые меры.

Принято допущение, что в рассматриваемый период цены на традиционные топливные ресурсы будут расти с каждым годом, при этом стоимость альтернативных топлив снизится (или произойдет незначительный рост), что должно стимулировать к переходу на использование ТС, работающих на альтернативных видах топлива. Также изучено влияние таких показателей как: наличие платного паркинга, а также экологических зон. С помощью методов машинного обучения

оценена эффективность показателей как мер, направленных на снижение объёмов выбросов ПГ (рисунки 10, 11).

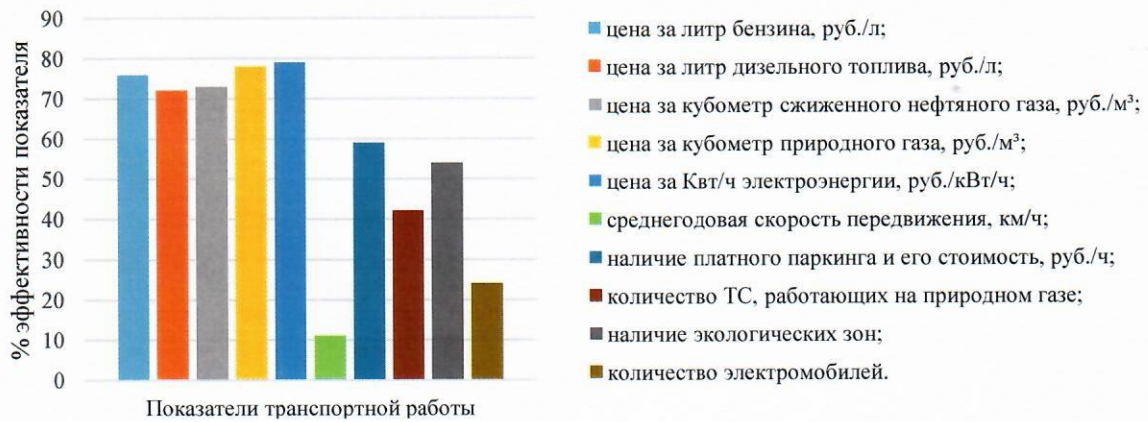


Рисунок 10 – Эффективность показателей при оценке мер, направленных на снижение выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства

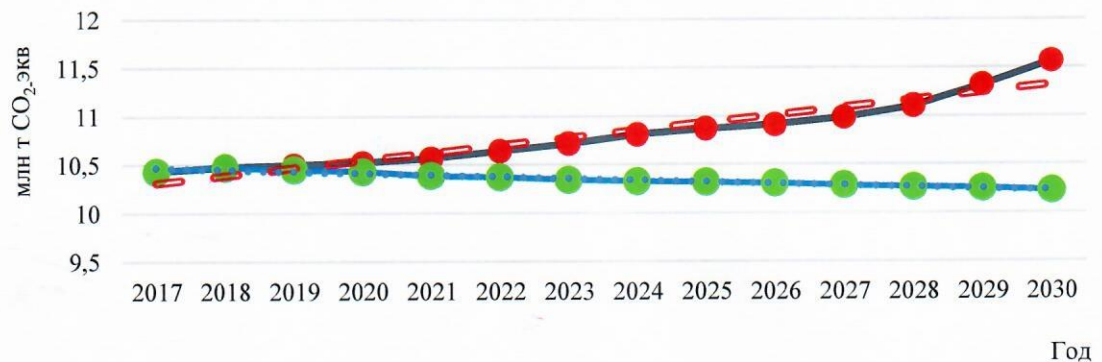


Рисунок 11 – Динамика выбросов парниковых газов при реализации мероприятий, направленных на снижение выбросов, 2017–2030 гг.

Таким образом, исходя из динамики формирования выбросов ПГ в Санкт-Петербурге при внедрении мер (линия с зелеными шариками, рисунок 11), направленных на снижение выбросов ПГ, можно прийти к выводу, что такие меры, как активный переход на альтернативные виды топлива и внедрение большего количества зон платного паркинга и ограничения въезда в районы города ТС низких классов, существенно снизят объёмы выбросов ПГ. Если в Санкт-Петербурге эти мероприятия не будут реализованы, то выбросы ПГ существенно возрастут (линия с красными шариками, рисунок 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения настоящего диссертационного исследования получены следующие основные результаты, совокупность которых подтверждает достижение цели и решение задач исследования.

1. Внедрением механизма расчетов образующихся от объектов дорожного хозяйства ПГ усовершенствована трёхуровневая методика оценки объёмов выбросов ПГ от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства.

2. Разработан новый методический инструмент верификации используемых при расчетах показателей транспортной работы и полученных результатов, который на основе интеллектуального анализа позволяет не только проводить оценку объёмов выбросов ПГ, но и верификацию полученных значений.

3. Сформирован перечень показателей транспортной работы, необходимый для проведения оценки выбросов парниковых газов транспортной системы региона как для передвижных источников, так и для объектов дорожного хозяйства.

4. Разработана расчётная методика определения и верификации выбросов парниковых газов, позволяющая оценить объёмы образующиеся выбросы ПГ с одновременной оценкой эффективности мер, направленных на сокращение выбросов ПГ.

5. Результатами численных экспериментов обоснованы наиболее эффективные меры, снижающие выбросы ПГ от автомобильного транспорта и объектов дорожного хозяйства Санкт-Петербурга на 2017–2030 гг., реализация которых позволит снизить выбросы ПГ на 1 млн 332 тыс. т CO₂-экв.:

– экономическое стимулирование перехода физических и юридических лиц на использование ТС, работающих на альтернативных видах топлива, может снизить выбросы ПГ на 865 тыс. т CO₂-экв. за рассматриваемый период, что составляет более 65 % от общего вклада. Это подтверждается ростом количества работающих на природном газе ТС и электромобилей (снижение выбросов на 298 тыс. т CO₂-экв.);

– внедрение мер, связанных с уменьшением транзита ТС через город (расширение зон платного паркинга), может снизить выбросы ПГ на 112 тыс. т CO₂-экв. Внедрение экологического зонирования, даст возможность снизить выбросы ПГ на 52 тыс. т CO₂-экв.;

– оценка средней скорости передвижения ТС по городу (при допущении ее ежегодного увеличения за счет совершенствования дорожной сети и транзитных возможностей города) показала, что эта мера несущественно влияет на сокращение выбросов ПГ (ожидаемое снижение – 5 тыс. т CO₂-экв.).

6. Дальнейшие исследования целесообразно проводить в области совершенствования методов оценки объёмов выбросов ПГ и интеллектуального анализа показателей транспортной работы для ТС, работающих на альтернативных видах топлива, для определения наиболее эффективных механизмов, направленных на снижение выбросов в транспортном секторе экономики.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

а) в изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Потапченко, Т.Д. Методика и результаты верификации расчетных объемов выбросов парниковых газов автомобильным транспортом [Текст] / **Т.Д. Потапченко** // Вестник МАДИ. – 2019. – № 2. – С.112–117.

б) в других изданиях

2. Trofimenko, Yu.V. Model for the assessment greenhouse gas emissions from road transport / Yu.V. Trofimenko, V.I. Komkov, V.V. Donchenko, **T.D. Potapchenko** // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – Vol. 7. – № 1. – June 2019. – Pp. 465–473. Available online at: <http://pen.ius.edu.ba>. (**SCOPUS**)

3. Gorodnichev M. Intellectual analysis and estimation of gross greenhouse gas emissions/ M. Gorodnichev, Y. Trofimenko, **T. Potapchenko**, L. Fedotova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 403, XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry 10–13 September 2019, Don State Technical University, Russian Federation. Available online at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/403/1/012217>. (**SCOPUS**)

4. Gorodnichev M.G. The concept of an automated weight and size control system for measuring the mass of freight vehicles in a traffic flow (weight-in-motion) / M. G. Gorodnichev, R.A. Gematudinov, K.A. Dzhabrailov, **T.D. Potapchenko** // Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2019. С. 8814120. (**SCOPUS**)

5. Polyantseva K.A. On the applicability of neural networks in the tasks of detecting dangerous movement/ K.A. Polyantseva, M. G. Gorodnichev, M.S. Moiseva, **T.D. Potapchenko** // Wave electronics and its application in information and telecommunication systems (weconf 2019)// Available online at: <https://iopscience.iop.org/article/08.1056/1655-1323/403/1/012321>. (**SCOPUS**)

6. Трофименко Ю.В. Отраслевая методика оценки валовых выбросов парниковых газов транспортом / Ю.В. Трофименко, **Т.Д. Потапченко**. – В сб.

научн. тр. Международн. научн. конф. : Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития. – 2018. С. 323–324.

7. Потапченко Т.Д., Трофименко Ю.В. Повышение экологической безопасности и энергоэффективности транспортной системы региона (на примере Крымского федерального округа) / **Т.Д. Потапченко**, Ю.В. Трофименко. – Сб. докл. VIII Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов : Будущее машиностроения России. – 2015. – С. 718–721.

8. Потапченко Т.Д. Отраслевая методика оценки валовых выбросов парниковых газов транспортом – инструмент повышения его энергоэффективности / Сб. : Будущее машиностроения России : докл. XII Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов (с международным участием). – 2019. – С. 637–641.

9. Потапченко Т.Д., Трофименко Ю.В. Верификация значений валовых выбросов парниковых газов автомобильным транспортом с помощью методов интеллектуального анализа данных / **Т.Д. Потапченко**, Ю.В. Трофименко / Информационные технологии и инновации на транспорте : м-лы V Международн. научн.-практ. конф. / под общей ред. А.Н. Новикова. – 2020. – С. 276–283.

Основные положения и результаты исследований автором получены самостоятельно. Статья [1] подготовлена единолично. Личный вклад автора в научных работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем:

– автором предложены и рассмотрены усовершенствованные методы проведения оценки выбросов ПГ от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства и предложен подход по проведению верификации результатов оценки выбросов ПГ с применением методов интеллектуального анализа данных.