

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)»
(ФГБОУ ВО «МАДИ»)

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»

Диссертация

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Трофименко Юрий Васильевич

Москва – 2020

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)»
(ФГБОУ ВО «МАДИ»)

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»

Диссертация

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Трофименко Юрий Васильевич

Москва – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТРАНСПОРТЕ И МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ СОКРАЩЕНИЮ....	11
1.1 Транспортный комплекс Российской Федерации как источник выбросов парниковых газов.....	11
1.2 Аналитический обзор отечественных, зарубежных и международных методик оценки объемов (инвентаризации) выбросов парниковых газов передвижными источниками и объектами дорожного хозяйства.....	17
1.3 Анализ мероприятий, направленных на снижение выбросов парниковых газов передвижными источниками и объектами дорожного хозяйства.....	27
Выводы по главе.....	37
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА.....	39
2.1 Методы оценки выбросов парниковых газов от передвижных источников выбросов и объектов дорожного хозяйства.....	39
2.2 Методы интеллектуального анализа данных при оценке выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства.....	45
2.2.1 Подготовка данных.....	49
2.2.2 Формирование признаков.....	55
2.2.3 Деревья решений (алгоритм C 4.5.).....	60
2.2.4 Деревья решений (алгоритм Random forest).....	65
2.2.5 Множественная линейная регрессия.....	68
Выводы по главе.....	70
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	72
3.1 Общие замечания и исходные данные.....	72

3.1.2 Оценка выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства в пилотном регионе (методика уровней 1-3)..	75
3.1.2.1 Методика уровня 1.....	75
3.1.2.2 Методика уровня 2.....	83
3.1.2.3 Методика уровня 3.....	89
3.1.2.4 Выводы по расчету объёмов выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства по методикам уровня 1, 2 и 3.....	93
3.2 Вычислительный эксперимент по верификации полученных результатов с помощью методов интеллектуального анализа данных.....	95
Выводы по главе.....	101
ГЛАВА 4. ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ НАПРАВЛЕННЫХ НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА.....	103
4.1 Анализ сценариев развития транспортного комплекса г. Санкт-Петербурга до 2030 г.....	103
4.2 Оценка динамики выбросов парниковых газов для г. Санкт-Петербурга за период 1990-2017 г.....	108
4.2.1 Подготовка данных.....	108
4.2.2 Численная оценка выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства для г. Санкт-Петербурга на период с 1990 по 2017 г.....	111
4.2.3 Проведение верификации используемых показателей транспортной работы.....	112
4.2.3.1 Верификация с применением метода множественной линейной регрессии.....	112
4.2.3.2 Верификация с применением метода С 4.5.....	114
4.2.3.3 Верификация с применением метода случайный лес (random forest)...	115
4.3 Оценка выбросов парниковых газов по прогнозным данным развития	

транспортной системы г. Санкт-Петербурга на период с 2017 по 2030 гг.....	117
4.3.1 Подготовка данных.....	117
4.3.2 Проведение верификации показателей транспортной работы с оценкой мероприятий направленных на снижение выбросов парниковых газов для развития транспортной системы г. Санкт-Петербурга.....	120
4.3.2.1 Верификация с применением метода множественной линейной регрессии.....	121
4.3.2.2 Верификация с применением метода С 4.5.....	123
4.3.2.3 Верификация с применением метода случайный лес (random forest)....	124
4.3.2.4 Оценка эффективности мер направленных на снижение выбросов парниковых газов до 2030 г.....	125
Выводы по главе.....	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	128
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Прогноз численности автотранспортных средств в г. Санкт-Петербурге на период до 2030 г.....	143
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Прогнозные значения суммарного пробега автотранспортных средств в г. Санкт-Петербурге для консервативного и инновационного сценариев развития транспортной отрасли.....	144

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В Российской Федерации проводится активная политика направленная на снижение антропогенного воздействия транспортного комплекса на окружающую среду. Актуальность данной тематики усиливается тем, что на фоне постоянно увеличивающейся автомобилизации населения растет количество выбросов парниковых газов (далее-ПГ) формируемых в процессе эксплуатации транспортных средств (далее – ТС), что оказывает прямое воздействие на процессы связанные с глобальным изменением климата. В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост объемов выбросов ПГ, при этом деятельность транспортного комплекса является основным фактором формирования выбросов ПГ по различным секторам экономики. В связи с указанным выше в 2015 г. было принято, а в 2020 г. ратифицировано Российской Федерацией - Парижское соглашение, целью которого является недопущение роста средней глобальной температуры на 2°C. В рамках данного соглашения, странам участникам необходимо провести оценку выбросов ПГ по секторам экономики, оценить вклад в формирование выбросов ПГ и имея представление об объемах выбросов реализовать наиболее эффективные мероприятия направленные на снижение выбросов ПГ. Поэтому, разработка методики определения выбросов ПГ транспортной системы региона и обоснование эффективности мероприятий по их сокращению является актуальной исследовательской задачей.

На сегодняшний день в России нет утвержденных методик, позволяющих проводить расчетную оценку объемов выбросов ПГ по передвижным источникам и объектам дорожного хозяйства. При этом, для транспортной системы региона, при планировании мероприятий направленных на снижение выбросов ПГ, необходима методика определения выбросов ПГ.

Обязательным условием обеспечения эффективности принимаемых мер направленных на снижение выбросов ПГ транспортной системой региона является

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 регулирования выбросов ПГ с введением отчетности предприятий дорожного хозяйства по объёмам выбросов ПГ с целью дальнейшей оценки необходимого комплекса мероприятий, направленных на их снижение.

В работе 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 инвентаризации выбросов ПГ, дополняют и развивают их и являются, безусловно, актуальными.

Степень разработанности. Подходы к оценке выбросов ПГ транспортной системой сформированы в трудах зарубежных ученых – Д. Драйера, Р. Карлсона, П.Стигсона, С.Сильверии, Д. Йохансона. Современное представление о процессах формирования выбросов парниковых газов в транспортном комплексе рассмотрены в трудах отечественных ученых: Ю.А. Израэля, В.А. Гинзбург, Н.Е. Уваровой, Г.М. Черногаевой, Д.Г. Замолотчиков, Ю.В. Смирновой, А.В. Чемезова, Т.А. Косариковой, С.М. Семенова, И.Л. Говор, Н.Е. Уваровой.

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

Вопросами оценки выбросов ПГ от транспортного комплекса занимались многие отечественные и зарубежные ученые, 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.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. 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.

2. Определить перечень исходных данных, необходимых для проведения оценки выбросов ПГ от транспортной системы региона и объектов дорожного хозяйства.

3. Разработать новый методический инструмент верификации используемых показателей транспортной работы и полученных объемов выбросов ПГ с применением методов интеллектуального анализа данных.

4. Выполнить обзор мероприятий направленных на сокращение выбросов ПГ от объектов транспортной системы региона.

5. 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.

Объектом исследования является транспортная система региона.

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

Научная задача исследования: разработать методику инвентаризации и верификации выбросов ПГ транспортной системы региона и на ее основе обосновать мероприятия по сокращению выбросов ПГ.

Область исследований соответствует пункту 6 паспорта специальности 05.22.01.

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, ранее неизученных мероприятий.

5. Выполнены численные эксперименты определения и верификации выбросов ПГ на примере транспортной системы г. 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 по проведению 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, позволяющей объективно оценивать объем формируемых выбросов. С использованием предложенной методики определения и верификации используемых расчетных показателей транспортной работы и полученных объемов выбросов возможно проведение оценки эффективности мероприятий направленных на снижение выбросов ПГ транспортной системы региона, обладающих высокой степенью достоверности и обоснованности. Разработанная методика может быть легко адаптирована к проведению оценки выбросов ПГ для любой транспортной системы различных регионов, с проведением оценки необходимых мероприятий по сокращению выбросов ПГ.

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.

На защиту выносятся:

1. Усовершенствованная трехуровневая методика определения выбросов ПГ позволяющая проводить оценку выбросов ПГ не только от передвижных источников, но и объектов дорожного хозяйства.

2. Показатели транспортной работы необходимые для проведения 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, ранее неизученных мероприятий, с применением методов интеллектуального анализа данных.

5. Результаты численных экспериментов оценки и верификации выбросов ПГ на примере транспортной системы г. Санкт-Петербурга с оценкой мероприятий направленных на сокращение выбросов ПГ.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается применением современного программного обеспечения (Copert 4.1.1, WEKA) 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.

Апробация работы. Основные положения научно-квалификационной работы обсуждены и одобрены на международной научно-технической конференции «8-ые Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса» (Москва, 2019 г.), на V международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орёл, 2019 г.), также на 5 международной конференции связи, менеджмента и информационных технологий (ICSMIT 19) (Вена, 2019 г.). На IX Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, 2016 г.). На XII всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, 2019 г.).

Публикации. По теме научно-квалификационной работы опубликовано 5 научных статей в рецензируемых научных изданиях, а также 4 статьи в других научных изданиях.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Текст научно-квалификационной работы изложен на 145 страницах, включая 33 рисунка, 47 таблиц и два приложения. Список литературы включает наименования отечественных и зарубежных авторов.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТРАНСПОРТЕ И МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ СОКРАЩЕНИЮ

1.1. Транспортный комплекс Российской Федерации как источник выбросов парниковых газов

Парниковый эффект возникает, когда парниковые газы (далее- ПГ), свободно пропускающие видимый солнечный свет к поверхности Земли, поглощают или рассеивают тепловое излучение, исходящее от Земли в космическое пространство. Среди антропогенных ПГ основными считаются: углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), хлорфторуглероды (ХФУ), шестифтористая сера (SF_6), трифторид азота (NF_3), озон (O_3), угарный газ (CO), неметановые углеводороды (NMHC), оксиды азота (NO и NO_2 , суммарно обозначаемые как NO_x) диоксид серы (SO_2) и водяной пар (H_2O).

В радиационном воздействии на климатическую систему доминирующая роль принадлежит долгоживущим ПГ – углекислому газу (CO_2), метану (CH_4), закиси азота (N_2O) и хлорфторуглеродам (ХФУ), которые химически стабильны и сохраняются в атмосфере от десяти лет до нескольких столетий, поэтому их выбросы оказывают долговременное воздействие на климат. Они перемешиваются в атмосфере гораздо быстрее, чем удаляются, и их глобальные концентрации можно точно оценить по данным из нескольких наблюдательных станций. Следует отметить, что транспортный комплекс формирует в основном выбросы CO_2 , CH_4 и N_2O , однако, в крупных городах доля выбросов, указанных ПГ связанных с эксплуатацией транспортных средств может составлять до 80 % от общего количества источников, формируемых выбросы ПГ.

В Российской Федерации на долю транспортного комплекса приходится 1,5 млн. км. автомобильных дорог различных категорий, 1 млн. км. воздушных трасс, 86,4 тыс. км. железнодорожных и 101,5 тыс. км. внутренних водных путей. В транспортном комплексе насчитывается около 3 тыс. организаций, в которых занято примерно 2 млн. человек (около 4 % занятых в экономике). Несмотря на вышеуказанную информацию, Россия отстаёт не только от развивающихся, но и от ведущих развитых экономик мира по грузо- и пассажирообороту, а по эффективности грузовой логистики занимает 99-ое место [5]. По данным Главного управления по обеспечению безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел в Российской Федерации на начало 2017 г. в России было зарегистрировано 57105,1 тыс. автотранспортных средств, из которых численность автомобилей, имеющих возможность использования:

- компримированного природного газа в качестве моторного топлива составила 146,2 тыс. ед.;
- сжиженного углеводородного газа – 1172,4 тыс. ед.;
- электродвигателей – 13,5 тыс. ед., в том числе с гибридной силовой установкой – 13,1 тыс. ед.

Следует отметить, что в настоящее время в России насчитывается порядка 70 станций зарядки электромобилей, 40 из которых расположены в Москве и в Московской области, 3 - в Санкт-Петербурге, остальные 27 - в Казани, Екатеринбурге и Сочи.

Низкий уровень мобильности населения сдерживает инвестиционную привлекательность транспортного сектора, что не позволяет компенсировать затраты на развитие транспортной инфраструктуры и приводит к необходимости увеличения его государственной поддержки. Все это отражается на энергоэффективности транспорта и соответственно уровне выбросов ПГ.

В настоящее время достоверно оценить объем выбросов ПГ транспортным сектором не представляется возможным в силу отсутствия законодательно утвержденных методик и механизмов получения статистических исходных данных, необходимых для расчёта объёма выбросов ПГ от объектов и технологий,

находящихся в ведении транспортных организаций, осуществляющих хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации, а также в собственности физических лиц.

В литературе приводятся расчетные количественные оценки выбросов ПГ транспортом в целом и его отдельными видами при использовании определенных наборов исходных данных. Так, результаты оценки объемов (инвентаризации) и динамики выбросов ПГ транспортом представлены в Национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ, не регулируемых Монреальским протоколом [7]. Согласно положениям данного документа, транспорт относится к сфере энергетики (83 % суммарных выбросов), в которой суммарная эмиссия ПГ только от сжигания топлива от всех категорий источников в 2015 году составила 1,43 млн. т CO₂-экв., из которых на долю транспорта приходится 19 % выбросов ПГ (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Эмиссия парниковых газов (ПГ) при сжигании топлива по категориям источников в Российской Федерации (т CO₂-эквивалента)

Годы	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Всего	2,29	1,45	1,31	1,35	1,4	1,39	1,44	1,35	1,41	1,46	1,47	1,41	1,42	1,43
Энергетическая промышленность	1,17	0,91	0,84	0,86	0,89	0,88	0,9	0,84	0,88	0,89	0,91	0,85	0,85	0,82
Промышленное производство	0,21	0,09	0,1	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15
Транспорт	0,32	0,21	0,17	0,21	0,21	0,22	0,23	0,21	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,27
Другие сектора	0,27	0,2	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,12	0,14	0,14	0,15
Другие	0,32	0,04	0,01	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03

На рисунке 1.1 приведены результаты оценки валовых выбросов ПГ транспортом в целом и его отдельными видами в период 1990 ... 2015 гг. [7], а на рисунке 1.2 – относительная доля в валовых выбросах ПГ отдельных видов транспорта.

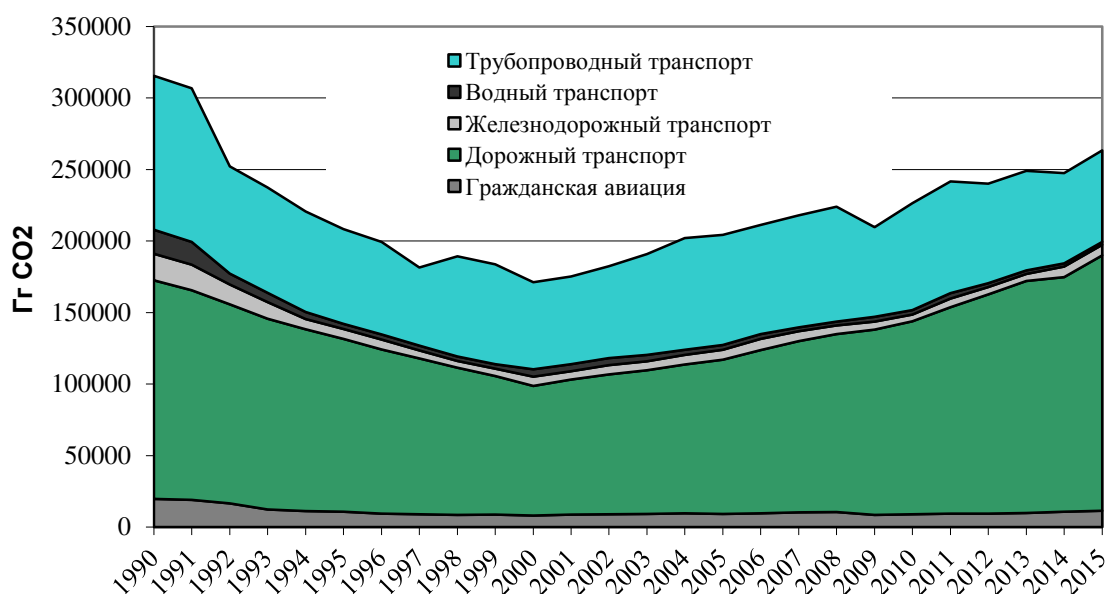


Рисунок 1.1 – Вклад различных видов транспорта в суммарный выброс CO₂ от категории «Транспорт» в Российской Федерации

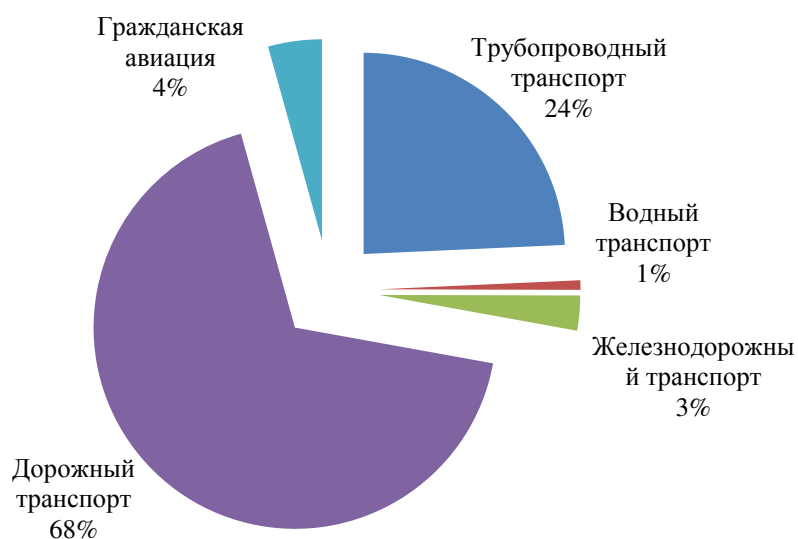


Рисунок 1.2 – Относительная доля различных видов транспорта в суммарный выброс CO₂, т (2018 г.) в Российской Федерации.

По данным национального кадастра в 2017 году объем выбросов ПГ от сжигания моторного топлива всеми видами транспорта (кроме трубопроводного) составил 184,3 млн. т. CO₂-экв., в том числе дорожным (автомобильным) транспортом 165,1 млн. т., гражданской авиацией – 10,69 млн. т.,

железнодорожным транспортом – 6,63 млн. т. и водным транспортом – 1,84 млн. т.

На основании анализа данных, приведенных в Национальном докладе о кадастре выбросов ПГ, наблюдается разная динамика изменения валовых выбросов ПГ разными видами транспорта. Если для железнодорожного, водного транспорта и гражданской авиации в период 1990...2015 гг. существенных изменений валовых выбросов ПГ практически не происходило, то по дорожному транспорту наблюдается совершенно другая ситуация – вначале (период 1990...1999 гг.) существенное сокращение выбросов ПГ по сравнению с 1990 годом (на 40 %) (рисунок 1.1), и затем постоянный рост до 165,09 млн. т. CO₂-экв. (2013 г.), т.е. на 7% больше уровня 1990 г. (154,86 млн. т. CO₂-экв.).

Потребляемые объемы моторного топлива разными видами транспорта в 2015 году приведены в таблице 1.2 [7].

Таблица 1.2 – Объемы потребления моторного топлива разными видами транспорта в 2017 году, ТДж, Российская Федерация

Вид транспорта	Вид моторного топлива	Потребление топлива	Доля отдельных видов транспорта, %
Гражданская авиация	Авиационный керосин	159 146,0	5,8
Дорожный транспорт	Сжиженный газ	18 4141,4	
	Бензин	1 538 531,1	
	Дизельное топливо	874 308,9	
	Другие моторные топлива	9 692,4	
	ВСЕГО	2 440 946,8	89,6
Железнодорожный транспорт	Дизельное топливо	96 991,6	
	Мазут	1 610,1	
	Другие моторные топлива	4,31	
	ВСЕГО	99 606,0	3,6
Водный транспорт	Дизельное топливо	19 943,4	
	Мазут	6 821,7	
	Другие моторные топлива	4,3	
	ВСЕГО	26 769,4	1
ИТОГО		2 726 468,2	100

Если не учитывать трубопроводный транспорт, то доля автомобильного (дорожного) транспорта в суммарных выбросах ПГ транспортом составляет (2015 г.) 89,6 %, гражданской авиации – 5,8 %, железнодорожного транспорта – 3,6 %, водного транспорта – 1 %. То есть выбросы ПГ автомобильным транспортом по

объему более чем на порядок превосходят выбросы от железнодорожного транспорта. Далее идут (в порядке убывания) воздушный транспорт, морской и внутренний водный. В этих оценках не учитывались выбросы ПГ предприятиями автомобильного транспорта, гражданской авиации, морского и речного транспорта, а также дорожного хозяйства.

Из рисунка 1.3 следует, что за 20-ти летний период автомобильный транспорт имеет минимальный из всех видов транспорта процент сокращения выбросов ПГ [6]. Связано это, прежде всего, с отсутствием чёткой государственной политики в вопросах повышения энергоэффективности индивидуального пассажирского и грузового автомобильного транспорта, ликвидацией крупных автотранспортных предприятий и производственно-технических баз по их техническому обслуживанию и ремонту.

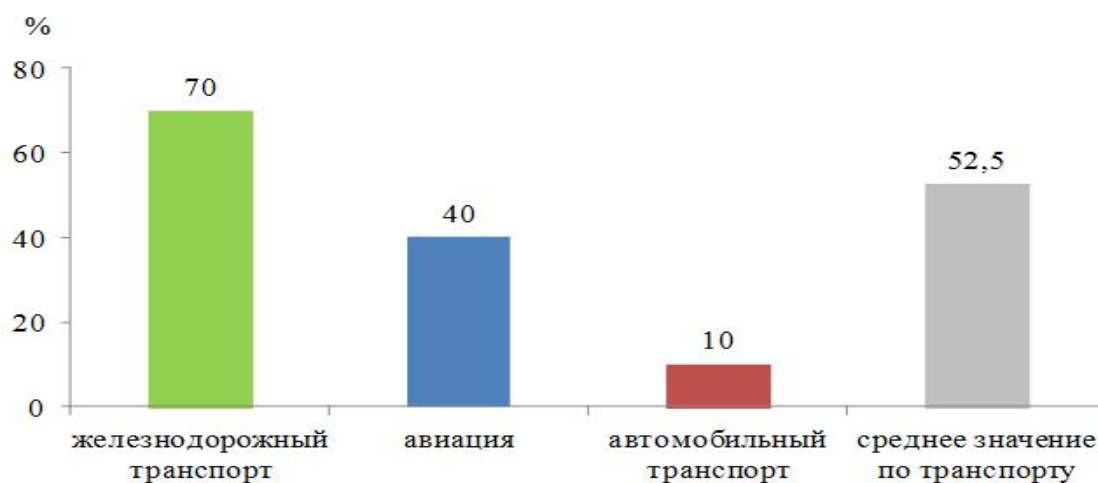


Рисунок 1.3 – Процент сокращения выбросов CO₂ от сжигания топлива по разным видам транспорта за период с 1990 по 2009 годы в Российской Федерации

На основании приведенных выше данных можно сделать вывод о том, что дорожный (автомобильный) транспорт является в Российской Федерации основным и определяющим суммарный объем выбросов ПГ видом транспорта с неблагоприятным трендом изменения валовых выбросов.

Следует отметить, что методики инвентаризации ПГ, используемые при подготовке Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ, характеризуется двухлетним запаздыванием

отчетности (отчет текущего года отражает объемы выбросов и поглощений ПГ за год, предшествующий предыдущему), что не отвечает целям и задачам климатической политики на современном этапе.

Основной недостаток этого подхода состоит в том, что он представляет агрегированные оценки выбросов ПГ по видам газов и категориям источников, но не содержит данных о выбросах ПГ конкретными организациями, что необходимо для выработки и реализации эффективной государственной политики и мер по сокращению объемов выбросов ПГ, в том числе, для определения целевых показателей сокращения объемов выбросов ПГ по секторам экономики.

Поэтому необходимо проводить инвентаризацию ПГ на национальном, региональном уровнях и уровне предприятия. Причем результаты инвентаризации, выполненные на каждом из указанных уровней должны быть сопоставимыми.

1.2 Аналитический обзор отечественных, зарубежных и международных методик оценки объемов (инвентаризации) выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства

Необходимо отметить, что методология оценки выбросов ПГ от транспорта, принятая в разных странах, приблизительно одинакова. Расчёт этих выбросов может основываться на потреблении топлива или на результатах исследований характеристик использования транспортных средств разных видов. Во втором случае используются удельные пробеговые выбросы ПГ в зависимости от вида транспорта. Ниже представлен обзор основных методологических подходов, применяемых на разных видах транспорта для оценки выбросов ПГ.

Существует довольно широкий набор методик и компьютерных программ, которые могут использоваться для оценки выбросов ПГ автомобильным

транспортом (таблица 1.3). Часть этих методик является комплексными и интегрирует блоки, предназначенные для решения разных задач транспортного планирования и мониторинга ситуации.

Таблица 1.3 – Международные и отечественные методики и компьютерные программы, используемые для оценки выбросов ПГ автомобильным транспортом

№	Название	Назначение методики или компьютерной модели
1	МГЭИК 2006 [6]	Трехуровневая методика оценки выбросов ПГ от транспорта. Описана в Главе 3 «Мобильное сжигание топлива» т.2 «Энергетика» «Руководящих принципов национальных инвентаризаций ПГ»
2	CORINAIR (EMEP/ЕАА) [8]	Трехуровневая методика инвентаризации выбросов ЗВ и ПГ, в том числе от дорожного транспорта. Разработана ЕЭК ООН
3	Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов [9]	Предназначается для инвентаризации выбросов ЗВ в атмосферный воздух автотранспортными средствами при движении по улично-дорожной сети крупнейших городов (с населением более 1 млн чел.). Может использоваться для планирования развития транспортной инфраструктуры крупнейших городов. Применяется к легковым и грузовым автомобилям, а также к автобусам, работающим на бензине, дизельном топливе, сжиженном нефтяном газе и компримированном (сжатом) природном газе. Разработана ОАО «НИИАТ»
4	COPERT IV [10]	Программа COPERT 4 (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport), разработанная для Microsoft Windows, представляет собой европейский методический инструмент для определения количества выбросов, создаваемых дорожным транспортом
5	GEF TEEMP [11]	Transportation Emissions Evaluation Model for Projects (TEEMP). Модель для оценки снижения выбросов ПГ за счет реализации проектов Глобального экологического фонда в транспортной отрасли
6	ForFITS [12]	For Future Inland Transport Systems (ForFITS) разработана Европейской экономической комиссией ООН (ЕЭК ООН) и представляет собой программный инструмент, предназначенный для выполнения двух основных задач: оценка выбросов ПГ (CO ₂) от транспорта; оценка мер политики по сокращению выбросов CO ₂ от транспорта
7	VISUM [13]	VISUM. Комплексная модель транспортного планирования, в которой есть экологический блок, рассчитывающий эмиссию вредных веществ NO _x , CO, SO ₂ и HC. В модели могут быть произведены дополнительные расчеты эмиссии других вредных веществ, если в поставке программного комплекса VISUM имеется PTV HBEFA Data Package

Продолжение таблицы 1.3

8	НВЕФА [14]	Handbook Emission Factors for Road Transport. Модель используется в ряде европейских стран и в Китае для расчета эмиссии ПГ от автомобильного транспорта. Коэффициенты выбросов загрязняющих веществ, используемые в НВЕФА, являются входящими данными для многих других моделей
9	COPERT Micro [15]	COPERT Micro определяет объем выбросов, создаваемых дорожным транспортом в городском масштабе. Программа позволяет оценить выбросы как на отдельно взятой улице или дороге, так и во всем городе
10	COPERT Street Level [16]	Новый, находящийся на последней стадии разработки и усовершенствования инструмент для оценки выбросов в привязке к конкретным улицам города с использованием информации о скорости и плотности потока
11	AimSun [17]	Модель AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) является моделью-микросимулятором топологии дорожной сети и транспортного спроса, предназначена для решения динамических транспортно-организационных задач и включает блок оценки выбросов
12	TREMOVE [18]	Имитационная модель для симуляции транспортного сектора для стратегического анализа затрат и выгод от широкого спектра инструментов и мер политики в 31 стране и в 8 морских регионах в 1995...2030 гг.
13	TREMOD [19]	Разработана для имитации трафика моторизованных транспортных средств, поездов, кораблей и самолетов в Германии в 1960...2030 гг. Применяется наряду с другими моделями как основа для разработки мер политики
14	SCENES [20]	Является основой базовых транспортных потоков модели TREMOVE. Включает 4 сценария развития транспорта до 2020 г. и базовый 1995 год. Назначение модели – прогноз транспортной активности стран Европы и некоторых других. Результатом являются оценки грузо- и пассажирооборота в 2020 г.
15	IVE [21]	International Vehicle Emissions. Модель является инструментом оценки выбросов ПГ от автомобильного транспорта в городах
16	MOVES [22]	Разработана U.S. Environmental Protection Agency для оценки выбросов от моторизованных транспортных средств. В частности, применяется для оценки эффективности мер политики в отдельных штатах. В качестве входных данных требует полной информации о пробеге транспорта в детальной разбивке
17	EMFAC [23]	Emissions Factors Model. Основное назначение модели – оценка мер политики, предлагаемых к реализации на территории штата Калифорния, в контексте снижения уровня загрязнения воздуха. Программный комплекс позволяет рассчитывать выбросы ПГ, но получаемые результаты не носят официального статуса
18	GLOBEMI [24]	Globale Modellbildung für Emissions. Модель используется в Австрии для расчета в масштабах страны выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом

Кроме того, за рубежом активно используются такие методики и базы данных

для инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта, как ЕММЕ III [25], EUROSTAT [26], CEFIC [27], PDP [28], PHEM [29], TRANSCAO [30], TRANUS [31], RH [32] и др.

Методология оценки выбросов ПГ от автотранспорта, принятая в разных странах (МГЭИК, ЕМЕП, НИИАТ, CORINAIR, MOBILE, IVE и др.), приблизительно одинакова. Расчёт выбросов ПГ может основываться на потреблении топлива (упрощённый подход) или на результатах исследований (или моделирования) характеристик транспортных потоков и использования транспортных средств. Во втором случае используются удельные (пробеговые) выбросы загрязняющих веществ и данные о годовых пробегах транспортных средств, а также учитываются другие факторы. Рассмотрим эту методологию более подробно на примере методики МГЭИК [6].

В методике МГЭИК категория «Автомобильный (дорожный) транспорт» включает все типы автотранспортных средств, такие как: легковые автомобили, грузовые автомобили малой грузоподъемности и большой грузоподъемности, автобусы, а также мотоциклы (включая мопеды, скутеры и мотоциклы с коляской). Данные транспортные средства работают на разных видах жидкого и газообразного топлива.

Оценки выбросов от автомобильного транспорта могут выполняться с использованием двух независимых наборов исходных данных: данных о потреблении топлива или данных о расстоянии, пройденном транспортным средством. В целом, первый подход (по потреблению топлива – всеми автотранспортными средствами или с разделением по их классам) подходит для оценки выбросов CO_2 , а второй (по пройденному расстоянию) подходит для оценки выбросов CH_4 и N_2O .

Если доступны оба набора данных, важно проверять их сопоставимость, иначе оценки различных газов могут быть противоречивыми. Проверку баланса топлива необходимо проводить и в случае, если все расчеты выбросов от автотранспорта проводятся по данным о годовом пробеге рассматриваемых групп автомобилей.

При оценке выбросов CO_2 от сжигания топлива дорожным транспортом выделяют 2 уровня расчетов. Метод Уровня 1 основан на количестве и типе сожженного топлива и рекомендуемых средних коэффициентах выбросов CO_2 . Метод Уровня 2 аналогичен методу Уровня 1 и рассчитывается с использованием региональных значений коэффициентов выбросов, базирующихся на реальном содержании углерода в топливе, потребляемом в регионе в течение года.

При оценке выбросов CH_4 и N_2O , в зависимости от наличия набора исходных данных используются три альтернативных подхода:

Уровень 1 – расчет по количеству сожженного топлива без разделения на классы автомобилей – использует данные о потребленном топливе и коэффициенты выбросов по типам моторного топлива и может быть использован, если невозможно оценить потребление топлива по категориям транспортных средств;

Уровень 2 – расчет по количеству сожженного топлива с разбиением по классам автомобилей – использует нормированные на единицу сожженного топлива коэффициенты выбросов, специфичные для каждой категории АТС;

Уровень 3 – расчет по пройденному расстоянию с разбиением на классы автомобилей – требует детальных данных для получения основанных на деятельности АТС коэффициентов выбросов для подкатегорий транспортных средств и может использовать модельные расчеты. Подкатегории транспортных средств основываются на видах транспортных средств, их возрасте и технологии контроля выбросов.

Провести оценку по количеству потребляемого топлива, рассчитываемого исходя из удельных показателей потребления топлива на единицу пробега для различных категорий транспортных средств без наличия достаточных данных о структуре парка по категориям АТС, значительно труднее, чем оценить средний годовой пробег. Поэтому, если выбросы CH_4 и N_2O являются ключевой категорией источников, наиболее обоснованным представляется использование для проведения региональной инвентаризации выбросов от дорожного транспорта методом Уровня 3 и коэффициентов выбросов, соответственно приведенных к

пробегу (кг/км).

При отсутствии данных необходимой детализации для расчета по Уровням 2 и 3, Руководящие принципы МГЭИК допускают использование моделей выбросов или транспортных моделей, позволяющих рассчитать выбросы от транспортных средств различных экологических классов, а также расстояния, пройденные каждым видом транспортных средств.

К недостаткам указанного методического подхода можно отнести необходимость иметь большое количество исходных данных, учёт по которым не ведётся или не представляется в полной мере в органы статистики.

Более детальное моделирование для оценки выбросов от дорожных АТС при использовании методологии Уровня 3 доступно при применении модели COPERT [10] и Руководств ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов [33].

Так, программа COPERT представляет собой методический инструмент для определения количества выбросов ПГ (CO_2 , CH_4 , N_2O), загрязняющих веществ, создаваемых дорожным транспортом (CO , NO_x , VOC , PM , NH_3 , SO_2 , NMVOC и др.), при этом также ведётся учёт расхода моторного топлива. Развитие COPERT координируется Европейским агентством по охране окружающей среды (ЕЕА), в рамках деятельности Европейского центра загрязнения воздуха и смягчения последствий изменения климата. COPERT используется для подготовки официального кадастра автомобильных выбросов в 28 странах-членах ЕС.

На рисунке 1.4. приведена блок-схема оценки выбросов ПГ и других загрязняющих веществ по программе COPERT, а в таблице 1.4 – алгоритмы оценки валовых выбросов парком АТС и необходимые для этого исходные данные.

Недостатком методики COPERT является необходимость наличия точных данных о среднегодовых пробегах по типам транспортных средств, а также чёткое представление о количестве транспортных средств различных экологических классов, в настоящее время в Российской Федерации такая статистика не ведётся.

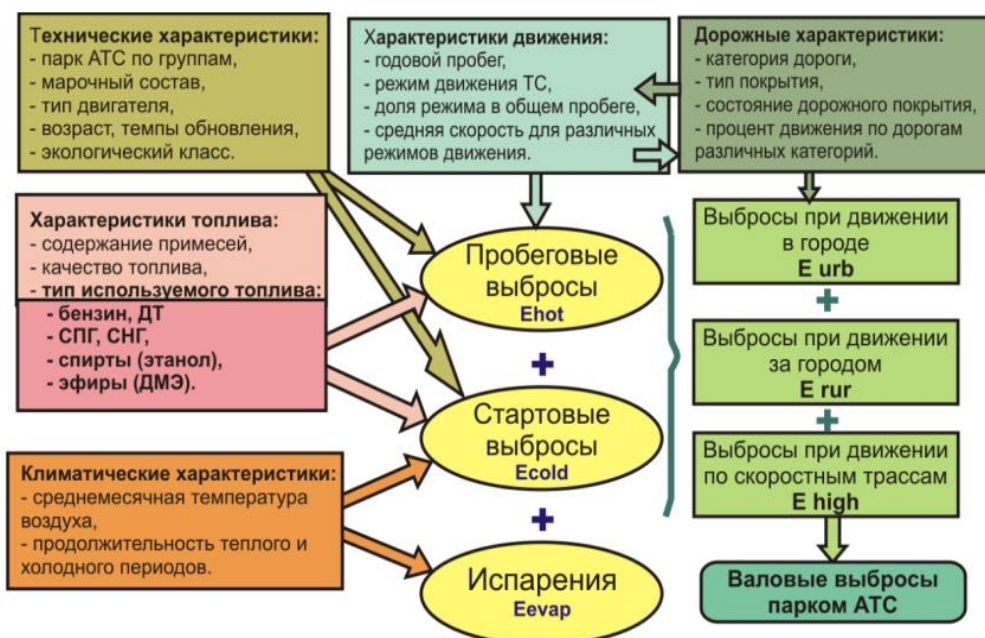


Рисунок 1.4 – Блок-схема оценки выбросов ПГ и других загрязняющих веществ по программе COPERT

Таблица 1.4 – Алгоритмы оценки валовых выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) парком АТС по программе COPERT

Наименование алгоритмов	Исходные данные
Алгоритм А – по сгоранию топлива	<ul style="list-style-type: none"> - Полные годовые пробеги АТС; - доли пробегов по режимам движения (городские, сельские и шоссе); - средние скорости АТС по режимам движения (городские, сельские и шоссе); - коэффициенты эмиссий (КЭ), зависящие от скорости. <p>Выбросы при холодном пуске вычисляются на основании:</p> <ul style="list-style-type: none"> - длины средней поездки транспортного средства; - среднемесячной температуры; - температуры и длины поездки в зависимости от фактора коррекции холодного пуска. <p>Испарения топлива вычисляются на основании:</p> <ul style="list-style-type: none"> - испаряемости топлива (RVP); - среднемесячной температуры, колебаний среднемесячной температуры; - КЭ, зависящие от температуры
Алгоритм В	<ul style="list-style-type: none"> - Годовые пробеги АТС; - доли пробегов по режимам движения (городские, сельские и шоссе); - средние скорости АТС по режимам движения (городские, сельские и шоссе); - КЭ, зависящие от скорости. <p>Для дизельных легковых автомобилей дополнительные эмиссии при холодном пуске для CO, NOx и ЛНОС, также, как и дополнительное потребление топлива</p>

Продолжение таблицы 1.4

Наименование алгоритмов	Исходные данные
Алгоритм С	- Полные годовые пробеги; - доли пробегов по режимам движения (городские, сельские и шоссе); - КЭ, зависящие от режима движения. Для бензиновых и легких дизельных АТС дополнительные эмиссии СО, NOx и ЛНОС при холодном пуске, также, как и дополнительное потребление топлива, получены с помощью данного алгоритма
Алгоритм D	- Полное годовое потребление топлива отдельными категориями транспортных средств и/или полные годовые пробеги для каждой категории АТС; - КЭ, зависящие от потребления топлива и/или пробега. Для двухколесных ТС испарения ЛНОС определены с помощью алгоритма А

Необходимо отметить, что методика МГЭИК получила развитие и некоторую трансформацию также и в других международных методиках, например, методике оценки сокращения выбросов ПГ в результате конкретных инвестиций в транспортный сектор экономики, используемой при оценке эффективности проектов Глобальным экологическим фондом и Программой развития ООН. В Российской Федерации эта методика широко использовалась при реализации проекта ПРООН/ГЭФ-Минтранс России «Сокращение выбросов ПГ от автомобильного транспорта в городах России» в 2013-2017 гг. [34].

Методика ГЭФ с блоком МОТВП подходит для упрощённой оценки выбросов ПГ от автотранспортного комплекса, основным недостатком указанной методики является отсутствие необходимости указания количества ТС для которых проводится расчёт и допущение, что поток состоит только из ТС относящихся к легковым автомобилям, автобусам и мотоциклам.

Кроме вышеуказанных методик в Российской Федерации для оценки валовых выбросов ПГ и других загрязняющих веществ автомобильным транспортом широко используются и другие методики, разработанные в основном ОАО «НИИАТ».

В основу этих методик положен известный подход (Уровни 1, 2 МГЭИК) оценки по объёму потребления моторного топлива и интенсивности использования АТС.

Наиболее достоверной является «Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов (на примере г. Москвы)» [9], которая предназначена для инвентаризации выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух автотранспортными средствами при движении по улично-дорожной сети крупнейших городов (с населением более 1 млн. чел.), а также скоростных автомагистралей и рекомендована к использованию НИИ «Атмосферы» с 2015 г. для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Достоинствами данной методики являются:

- большой перечень рассчитываемых загрязняющих веществ, в том числе ПГ (CO_2 , N_2O , углеводороды в пересчете на метан) и др. (SO_2 , NO_x , РМ, Рb, ЛНОС, NH_3);

- учет выбросов загрязняющих веществ не только при движении автомобильного транспорта, но и при пуске и прогреве двигателей. Также в данной методике рассчитываются выбросы загрязняющих веществ при испарении топлива.

Российская методика расчёта выбросов от автотранспорта в крупных городах практически полностью гармонизирована с европейской методикой ЕМЕП/CORINAIR, но имеет следующие отличия:

- более дифференцированная классификация рассматриваемых условий городского движения;

- большая дифференциация отдельных категорий АТС;

- учёт пробеговых выбросов загрязняющих веществ для автотранспортных средств российского производства экологических классов pre-EURO, Евро-1 и Евро-2.

Необходимо отметить, что в методике НИИАТ рассматривается пять уровней градации пробеговых выбросов по условиям движения, представленных в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Классификация элементов улично-дорожной сети (УДС)

I.П	Магистральные дороги регулируемого движения и магистральные улицы общегородского значения регулируемого движения, магистральные улицы общегородского значения непрерывного движения и магистральные дороги скоростного движения, а также магистральные улицы районного значения в период пиковой загрузки при скорости сообщения $V_c \leq 15$ км/ч
I.МП	Магистральные дороги регулируемого движения и магистральные улицы общегородского значения регулируемого движения в межпиковый период при скорости сообщения $V_c > 15$ км/ч
II	Магистральные улицы районного значения в межпиковый период при скорости сообщения $V_c > 15$ км/ч, улицы и дороги местного значения
III	Магистральные улицы общегородского значения непрерывного движения при $V_c > 15$ км/ч
IV	Магистральные дороги скоростного движения при $V_c > 15$ км/ч

Методика НИИАТ включает в себя три расчётных блока:

- расчёт валового выброса при движении АТС (так называемые горячие выбросы);
- расчёт валового выброса при пуске и прогреве двигателя (холодные выбросы);
- расчёт валового выброса при испарении топлива.

Количество типов и подтипов автотранспортных средств определяется на основании анализа структуры парка транспортных средств, прошедших государственный технический осмотр и зарегистрированных на территории населенного пункта (данные ГИБДД).

Между тем, для целей инвентаризации и разработке мер по сокращению выбросов ПГ транспортом в крупных городах и мегаполисах в настоящее время уже недостаточно использовать методику оценки выбросов только автомобильным транспортом. Необходимо оценивать выбросы ПГ и другими видами городского транспорта (электротранспорт, рельсовый транспорт и др.).

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что во всех приведенных выше методиках оценка выбросов от автомобильного транспорта может основываться на двух независимых наборах исходных данных: данных о потреблении топлива или данных о расстоянии, пройденном транспортным средством. Если доступны оба набора данных, важно проверять их сопоставимость,

иначе оценки различных газов могут быть противоречивыми. Проверку баланса топлива необходимо проводить и в случае, если все расчеты выбросов от автотранспорта проводятся по данным о километраже. При этом в Российской Федерации большая часть необходимых исходных данных отсутствует или собирается частично и без учёта транспортных средств, находящихся в личном пользовании физических лиц.

1.3 Анализ мероприятий, направленных на снижение выбросов парниковых газов передвижными источниками и объектами дорожного хозяйства

Сокращение выбросов и увеличение поглощения ПГ, а также энергосбережение и повышение энергетической эффективности транспортной отрасли является важным элементом государственной транспортной политики. Её осуществление требует использования целого ряда механизмов стимулирования, которые по характеру воздействия на субъекты транспортной деятельности можно разделить на:

- административно-правовые;
- экономические;
- информационные (морального воздействия и убеждения).

Административно-правовые механизмы предназначены для прямого воздействия на результаты деятельности как юридических, так и физических лиц, посредством законов, постановлений правительства, стандартов, регламентов и других нормативно-правовых и нормативно-технических документов с целью достижения заданных целевых показателей, норм, выполнения установленных требований и правил, которые должны соблюдаться или достигаться данными лицами.

Назначением экономических механизмов стимулирования является использование связанных с функционированием рынков стимулов для воздействия на экономические интересы и экономическое поведение субъектов хозяйствования в желаемом направлении. В этом случае экономическим агентам предоставляется значительная свобода выбора в поиске эффективных путей достижения общественно значимых целей.

Основным преимуществом экономических механизмов, таких как топливные налоги, является то, что они обеспечивают наименьшие общественные издержки при достижении заданной цели. Связано это, в первую очередь, с тем, что такие механизмы менее требовательны к информационному обеспечению, т.к. их реализация децентрализована. Заинтересованные стороны либо уже владеют необходимой информацией, либо могут её собрать с меньшими затратами, чем государственные надзорные организации.

В случае реализации административно-правовых механизмов, например, введения стандартов на топливную экономичность ТС для стимулирования производства более экономичных автомобилей необходимо разработать тестовые процедуры, обосновать нормируемые показатели, создать соответствующую систему сертификации, оснастить испытательные центры дорогостоящим оборудованием, постоянно проводить испытания всех моделей и модификаций автомобилей, обеспечивать контроль над нормируемыми показателями в процессе эксплуатации и т.д.

Введение же топливных налогов сразу устанавливает непосредственную связь между потреблением топлива (выбросом ПГ) и экономическими издержками, обеспечивая необходимый уровень мотивации к любым мероприятиям, направленным на сокращение потребления топлива, в том числе и за счёт улучшения топливной экономичности автомобилей. Уровень мотивации корректируется величиной налогов. И при этом обеспечивается большая свобода выбора для конечных потребителей относительно стратегий сокращения своих экономических издержек. Другая привлекательная черта экономических механизмов состоит в том, что они влияют на всех пользователей транспорта, а не

только на тех, кто собирается покупать новый автомобиль [37, 38, 39].

Однако у экономических механизмов есть и недостатки. Во-первых, наименее затратные меры могут политически не поддерживаться. Это касается тех же топливных налогов. Даже тогда, когда общественные издержки на реализацию мер, связанных с введением и ужесточением экологических стандартов и технических регламентов выше, чем издержки на реализацию налогов, установление более жестких нормативов политически часто более приемлемо, чем повышение налогов.

Следует иметь в виду, что недостатки стандартов и технических регламентов по сравнению с топливными налогами становятся менее очевидными, когда эластичность спроса на поездки низкая, в то время, как эта самая низкая эластичность увеличивает противодействие установлению соответствующих топливных налогов. Практическим доказательством существования низкой эластичности спроса на топливо и спроса на поездки является тот факт, что владельцы автомобилей реагируют на повышение топливных налогов инвестициями в топливную экономичность автомобилей, а не сокращением поездок. Стандарты и технические регламенты могут обеспечить аналогичный результат, практически не оказывая влияния на возможное увеличение пробегов АТС, связанных с лучшей топливной экономичностью автомобилей. Это мероприятие обладает эффектом обратного действия, т.к. дополнительно увеличивает экстерналии, связанные с транспортными заторами, ДТП, загрязнением воздуха и т.п. Однако этот эффект относительно мал (особенно в насыщенных транспортом регионах) и может быть блокирован другими мерами прямого действия [40, 41].

Во-вторых, аргументы в пользу экономических механизмов обычно не учитывают административных издержек. Эти издержки могут оказаться существенными в случае, например, торговли квотами.

В-третьих, сравнение механизмов, базирующихся на ценах (топливные налоги), и механизмов, базирующихся на количестве выбросов (торговля квотами или стандарты), затруднено наличием неопределённостей. Относительная

эффективность политических механизмов сильно зависит от характера кривой функции уровня предельного вреда. Если эта кривая пологая, т.е. каждая дополнительная единица выбросов обуславливает вред, подобный вреду от предыдущей единицы выбросов, то небольшие отклонения фактического уровня выбросов от предельно допустимого не приведут к существенному росту вреда. В этом случае топливные налоги работают хорошо. Но если, наоборот, величина вреда быстро возрастает при увеличении выбросов, то чрезвычайно важно точно поддерживать фактический уровень выбросов на уровне предельно допустимого, т.к. его превышение может привести к серьёзным последствиям. В этом случае привлекательными становятся инструменты, обеспечивающие непосредственный контроль над расходом топлива и уровнем выбросов ПГ, такие как, например, торговля квотами или стандарты на топливную экономичность [42, 43].

По мнению экспертов, в случае выбросов ПГ транспортными средствами форма кривой предельного вреда почти плоская и поэтому налоговое регулирование является предпочтительнее административно-правового. Однако в большинстве случаев политической риторики утверждается, что вред от выбросов ПГ резко увеличивается. Инструменты, основанные на количестве выбросов, более соответствуют такой ситуации, т.к. дают государству более точный контроль над уровнем суммарных выбросов. Хотя эффект от принятия новых стандартов на топливную экономичность автомобилей начнет заметно проявиться только лет через 7-10 лет, когда парк автотранспортной техники в значительной степени обновится [44].

Очевидные проблемы применения как административно-правовых, так и экономических механизмов стимулирования предопределили формирование еще одной разновидности механизмов, которые могут быть определены как информационные «механизмы морального воздействия и убеждения». Посредством этих механизмов включение экологической обеспокоенности и ответственности в индивидуальный процесс принятия управленческих решений осуществляется посредством применения форм информационного давления или убеждения либо прямо, либо косвенно. Механизмы этой группы, как правило,

используются совместно с административно-правовыми и экономическими механизмами.

Информационные механизмы морального воздействия и убеждения являются относительно мало затратными и должны сопровождать введение как экономических, так и административно-правовых механизмов стимулирования сокращения выбросов ПГ в транспортном секторе. В их числе:

- непосредственное информирование населения о топливной экономичности ТС (экологическая маркировка);
- обучение экономичному вождению (экодрайвинг);
- проведение разъяснительных кампаний о выгодах низкоуглеродного развития транспортного комплекса, использования немоторизованных видов транспорта, сокращения потребления энергии и т.д.

По мере развития информационных технологий роль последних в создании эффективных механизмов стимулирования сокращения выбросов ПГ, а также энергосбережения и повышения энергетической эффективности транспортной отрасли будет повышаться.

Обобщая изложенное, наиболее перспективной представляется комбинация директивных, экономических и информационных механизмов стимулирования сокращения выбросов ПГ в транспортном секторе. При этом относительная значимость этих механизмов во времени меняется и зависит, прежде всего, от политически сформулированных целевых установок социально-экономического развития общества.

Повышение топливной экономичности и экологичности автомобильного транспорта обеспечивается, прежде всего, за счет совершенствования конструкций существующих автомобилей и двигателей и разработки альтернативных типов энергоустановок АТС, для питания которых используются природный газ, электроэнергия, водородное топливо и ВИЭ.

Совершенствование конструкций существующих автомобилей и двигателей связано с разработкой новых методов очистки выхлопных газов ТС, созданием систем интегрированного управления энергопотреблением всеми агрегатами

автомобилей в реальных условиях эксплуатации, а также с повышением к.п.д. силовой энергетической установки. Рост энергоэффективности достигается за счет снижения массы автомобилей, уменьшения потерь на движение, совершенствования технологий накопителей энергии.

Важным мероприятием является утверждение и ужесточение стандартов на топливную экономичность и выбросы CO_2 ТС до перспективного уровня европейских стран – 95 г/км (к 2035 году). Отсутствие нормативных требований к пробеговым (на 1 км пробега) выбросам CO_2 новых автомобилей, поставляемых на внутренний рынок, приводит к тому, что уровень выбросов ПГ отечественных автомобилей (ВАЗ, ГАЗ, УАЗ) в 1,5 - 2 раза превышает нормы выбросов CO_2 , принятые в Европейском Союзе (рисунок 1.5).

Активизируются работы по повышению мощности двигателей, работающих на альтернативных видах топлива - природном газе и биотопливе, в том числе биометаноле и биоэтаноле. Получают распространение гибридные технологии, растет производство электромобилей классов М1 и N1.

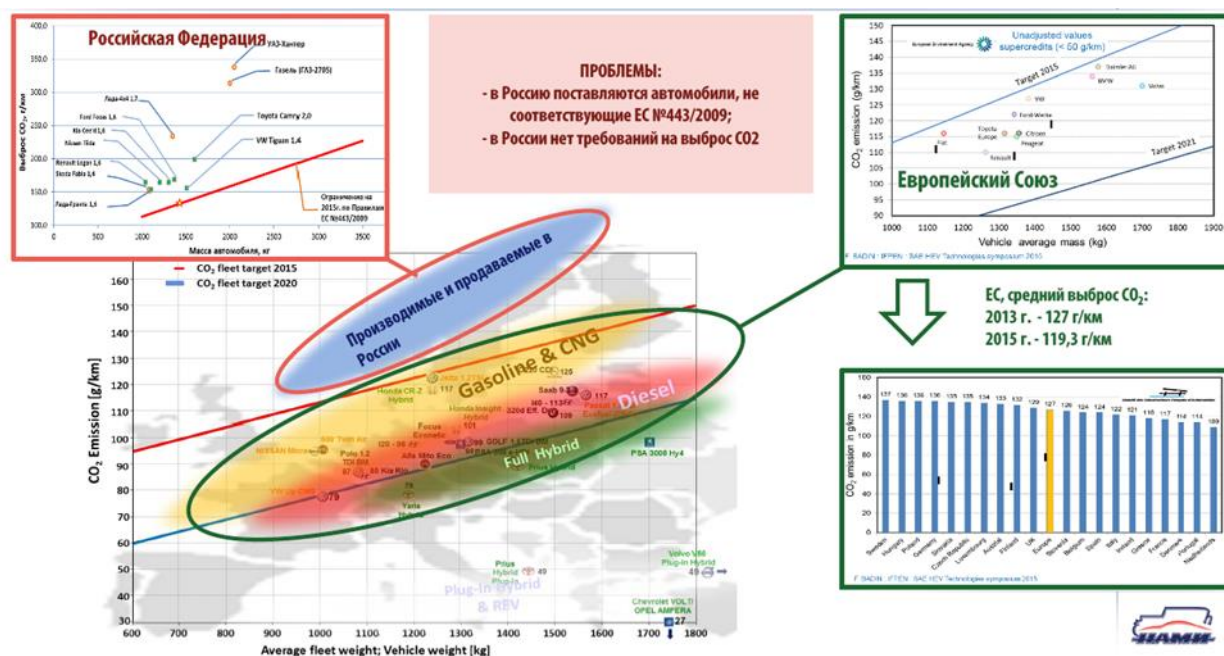


Рисунок 1.5 – Удельные выбросы CO_2 (г/км) новыми легковыми автомобилями, производимыми в России (НАМИ, 2016)

В результате выработки и ввода в действие указанных выше механизмов и мер государственного регулирования, обеспечивающих мотивацию перевода ТС на экологически чистые виды топлива, ожидается, что доля парка ТС с гибридными, электрическими двигателями и двигателями на альтернативных видах топлива в общей численности парка АТС в 2020 г. в России составит 26 – 29 %, а в 2030 г. – 49 – 54 % по инновационному (целевому) сценарию развития транспорта.

Согласно проекту Энергетической стратегии России, на период до 2035 г. [45] в прогнозы заложен рост потребления газомоторного топлива на транспорте в 3 - 4 раза к 2020 г. и в 7 - 8 раз к 2030 г. по сравнению с 2015 г. Предполагается увеличение доли электромобилей в автопарке до 4 - 5 % к 2030 г. по инновационному (целевому) сценарию развития транспорта [46].

При реализации комплекса инженерно-технических, организационных и нормативных правовых мероприятий на автомобильном транспорте объем удельных выбросов CO₂ на автомобильном транспорте может снизиться к 2030 г. по инновационному (целевому) сценарию на 30 - 35 %, по базовому сценарию – на 20 - 25 % по сравнению с 2015 г (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Мероприятия, направленные на сокращение выбросов ПГ

Субъект	Направление стимулирования сокращения эмиссии CO ₂	Инструмент	Пояснение
Автовладельцы (частные лица и предприятия, имеющие автопарки)	Стимулирование соблюдения принципов экономичного вождения	Ценовая политика	Льготное ценообразование на новейшие бортовые и навигационные системы
		Налогообложение и неналоговые платежи	Система штрафов за несвоевременную замену шин в зависимости от сезона
		Государственная поддержка	Финансирование разработки и внедрения новых технологий по применению ИТС, бортовых навигационных систем Строительство сети дорог и реконструкция транспортных систем, способствующая безостановочному движению
	Стимулирование соблюдения правил эксплуатации автомобиля	Налогообложение и неналоговые платежи	Система штрафов за несвоевременное проведение техобслуживания и ремонтов
			Прогрессивный налог для автовладельцев в зависимости от срока эксплуатации их автомобилей
	Стимулирование приобретения автомобилей с высокой топливной экономичностью, в том числе использующих альтернативные виды топлива и энергии	Налогообложение и неналоговые платежи	Льготное ценообразование для моделей автомобилей с высокой топливной экономичностью, в том числе, использующих альтернативные виды топлива и энергии
Льготное налогообложение для автопредприятий, имеющих парк автомобилей с высокой топливной экономичностью, в том числе использующих альтернативные виды топлива и энергии			
Программы утилизации старых автомобилей			
Автопроизводители	Стимулирование улучшения конструкции АТС и ДВС	Финансово-кредитные инструменты	Льготное кредитование мероприятий по разработке технологий усовершенствования ДВС и конструкции автомобилей, в том числе перевода транспорта на альтернативные виды топлива и энергии
		Государственная поддержка	Предоставление экологических субсидий разработчикам и производителям высокотехнологичных ДВС, конструкций автомобилей, позволяющих повысить их топливную экономичность, в том числе использующих альтернативные виды топлива и энергии
	Стимулирование соблюдения регламентированных выбросов CO ₂ для производимых АТС	Налогообложение и неналоговые платежи	Взимание платы с автопроизводителей за превышение в среднем по корпорации/ дифференцированно по автомобилям регламентированного объема выбросов CO ₂ выпускаемыми новыми автомобилями
Производители топлива	Стимулирование производства топлива высокого качества (с пониженной плотностью и, соответственно, эмиссией CO ₂ при сгорании)	Финансово-кредитные инструменты	Льготное кредитование при строительстве новых нефтеперерабатывающих заводов
		Государственная поддержка	Модернизация нефтепереработки
		Налогообложение и неналоговые платежи	Налог, учитывающий эмиссию CO ₂ при сгорании топлива
	Стимулирование производства альтернативных видов топлива	Финансово-кредитные инструменты	Льготное кредитование, инвестиционные субвенции при разработке и производстве альтернативных видов топлива
		Государственная поддержка	Поддержка разработок и производства альтернативных видов топлива

Необходимо отметить, что на автомобильном транспорте в России налогообложение моторного топлива как мера по стимулированию повышения энергоэффективности владельцев АТС работает не эффективно. Одна из причин – отсутствие действенных стимулов повышать энергоэффективность АТС в эксплуатации из-за отсутствия привязки транспортного налога к экологическому классу (возрасту), топливной экономичности, годовому пробегу АТС, а также то, что только 5 % ТС находятся в государственной или муниципальной собственности, остальные (95 %) рассредоточены среди десятков миллионов индивидуальных владельцев, многие из которых не в состоянии поддерживать свои ТС в технически исправном состоянии (по расходу топлива и выбросу ПГ) и собрать достоверную статистику об их деятельности не представляется возможным [61 - 63].

Наиболее рациональный способ решения этой проблемы - переориентация транспортного налога с учета мощности двигателя, на учет экологического класса АТС (возраста), его годового пробега, вида топлива, удельной топливной экономичности и удельного выброса CO₂. Как альтернативный вариант – замена транспортного налога экологическим сбором с сохранением этого же содержания. Стремительное развитие информационных технологий на транспорте (системы «Платон», «ЭРА-ГЛОНАСС» и др.) позволит в ближайшее 3 - 5 лет достоверно определять годовые пробеги отдельных автомобилей, а определение экологического класса, топливной экономичности АТС, вида топлива облегчается в связи с введением с октября 2017 г. электронного ПТС в базе данных ГИБДД. Публичное обсуждение в средствах массовой информации предложения о замене транспортного налога экологическим сбором осенью 2017 г. нашло понимание и поддержку в обществе [46 - 58].

В числе других мер экономического стимулирования, связанных с деятельностью автомобильного транспорта, можно выделить следующие:

- уменьшение либо полный отказ от уплаты транспортного налога на газобаллонные (КПГ, СПГ), гибридные автомобили и электромобили, при условии формирования соответствующей зарядной инфраструктуры;

- разработка программ автокредитования, автолизинга и автострахования для стимулирования спроса на газобаллонные, гибридные автомобили и электромобили;

- дополнение перечня оборудования, на которое распространяются предусмотренные налоговым законодательством налоговые льготы и преференции, объектами зарядной инфраструктуры для электромобилей;

- ускорение обновления парка ТС разных видов транспорта через предоставление фискальных стимулов для утилизации старых автомобилей и другой транспортной техники [63].

Административно-правовые меры стимулирования:

- разработка и внедрение системы индикаторов устойчивого развития транспортного отрасли для оценки прогресса в государственном, региональном и городском планировании, организации дорожного движения и работы транспорта, снижении выбросов ПГ;

- принятие стандартов эффективности использования топлива и ужесточение стандартов эмиссии ПГ автотранспортными средствами;

- разработка программы сокращения объема выбросов ПГ (СО₂-экв.), образующихся в результате дорожной деятельности, на период до 2030 г.;

- введение минимальных квот на приобретение электромобилей потребителями бюджетной сферы, регулируемые организациями и организациями с участием государства;

- стимулирование и поддержка развития производства (локализации производства) электромобилей на территории Российской Федерации;

- стимулирование владельцев парковок, крупных торговых центров, торгово-развлекательных центров, иных коммерческих объектов к установке на своих объектах зарядных станций для электротранспорта.

Информационные меры стимулирования:

- введение маркировки энергоэффективности ТС;

- проведение на государственном уровне работы по популяризации использования более экологичных видов транспорта (метро, ЛРТ, велосипед и др.);

- проведение мероприятий по популяризации правил эковождения, разработке программ и организации курсов обучения эковождению на национальном и региональном уровнях.

Для стационарных объектов автомобильного транспорта (предприятия производственно-технической базы и др.) распространяются механизмы стимулирования выбросов ПГ, а также энергосбережения и повышения энергетической эффективности, которые разработаны для всех хозяйствующих субъектов без учета транспортной специфики предприятий. Это, прежде всего создание административно-правовых и экономических стимулов для транспортных организаций, внедряющих системы управления охраной окружающей среды в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14000 и др. [47 - 55].

Выводы по главе

Аналитический обзор, проведенный в указанной работе позволил сформулировать следующие выводы:

1. В настоящее время транспортный комплекс Российской Федерации является крупным источником, формирующим выбросы ПГ, однако, провести достоверную оценку объёмов выбросов ПГ не представляется возможным в силу отсутствия утверждённых методик и механизмов получения статистических исходных данных, что в свою очередь не позволяет проводить эффективную политику, направленную на снижение выбросов ПГ транспортным сектором.

2. В основе методических подходов к инвентаризации (оценке) выбросов ПГ всех видов транспорта в международных, зарубежных и российских методиках лежат требования руководящих принципов и указаний Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) уровней 1, 2 и 3, отличающихся

степенью детализации исходных данных, а также рекомендации Всемирной метеорологической организации и Программы ООН по окружающей среде. При этом выбросы CH_4 и N_2O сложнее оценить (методики Уровней 2 или 3), чем выбросы CO_2 (методика Уровня 1 на основании данных по потреблению моторного топлива), т.к. коэффициенты выбросов зависят от технологии, используемой транспортным средством, вида топлива и эксплуатационных характеристик транспортного средства. При этом, международные и отечественные методики инвентаризации выбросов ПГ фактически не учитывают специфику источников выбросов для различных видов транспорта. Они не рассматривают в качестве источников выбросов ПГ предприятия автомобильного транспорта и дорожного хозяйства.

3. В существующих формах статистической отчетности отсутствует детализация данных, необходимых для достоверной оценки объемов выбросов ПГ автомобильным видам транспорта и объектами дорожного хозяйства. Статистические данные, получаемые на основе действующих форм федерального статистического наблюдения, не позволяют рассчитать объемы выбросов парниковых газов от линейных объектов транспортной инфраструктуры, имеющих значительную протяженность и проходящих по территории нескольких субъектов Российской Федерации.

4. Аналитический обзор зарубежных и международных механизмов регулирования выбросов ПГ и принимаемых зарубежными странами мер, направленных на переход к устойчивому низкоуглеродному развитию транспортной отрасли, показал, что проблема повышения энергоэффективности транспортной отрасли актуальна для всех стран мира, т.к. развитие экономики тесным образом связано с ростом транспортной мобильности, и, как правило, ростом энергопотребления и выбросов ПГ транспортом. При этом каждая страна руководствуется собственными национальными интересами и развивает внутренние механизмы корректировки направления экономического развития.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА

2.1 Методы оценки выбросов парниковых газов от передвижных источников выбросов и объектов дорожного хозяйства

Важнейшей задачей для проведения расчётной оценки образования ПГ транспортной системы региона является теоретическое обоснование методики оценки выбросов ПГ. В качестве основных расчётных формул необходимо использовать указанный ранее трёхуровневый подход оценки выбросов парниковых газов, а именно:

Таблица 2.1 – Формулы для оценки выбросов ПГ передвижными источниками региона для разных уровней детализации исходных данных, т/год

Источники выбросов	Расчетная формула	Обозначение (примечания)
Передвижные объекты (парк ТС) Уровни 1,2	$E_{CO_2} = \sum_a (AD_a \cdot EF_a) / 10^3 \quad (2.1)$	<i>E</i> – выбросы CO ₂ , CH ₄ или N ₂ O; <i>a</i> – вид транспорта (автомобильный); <i>AD_a</i> – объем транспортной работы при выполнении грузовых или пассажирских перевозок, млн. т-км или пасс.-км/год/ данные о потреблении топлива или другого энергоресурса типа <i>a</i> , ТДж/год ; <i>EF_a</i> – коэффициент выбросов CO ₂ при выполнении грузовых или пассажирских перевозок, кг/ткм или пасс.км/ коэффициент выбросов CO ₂ для топлива или другого энергоресурса типа <i>a</i> , кг/ТДж

Продолжение таблицы 2.1.

<p>Передвижные объекты (парк ТС) Уровень 3</p>	$E = \frac{(\sum_{a,b,c,d} (AD_{a,b,c,d} \cdot EF_{a,b,c,d}) + \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d})}{10^6} \quad (2.2)$	<p>E – выбросы CO₂, CH₄ или N₂O; a – вид топлива (дизтопливо, бензин, природный газ, 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 имеющего экологический класс c, км; $EF_{a,b,c,d}$ – коэффициент выбросов CO₂, CH₄ или N₂O 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.</p>
--	--	---

Расчет выбросов ПГ проводится по формулам с разной степенью детализации используемых данных (Уровни 1-3). При проведении расчетов формируемых выбросов ПГ по первому Уровню необходимы данные о потребленной массе топлива по видам топлив без разбиения на виды ТС, а также данные о переводных коэффициентах выбросов ПГ. В случае проведения расчетов по второму Уровню необходимы данные не только о количестве потребленного топлива и специальных нормированных на единицу массы сожжённого топлива переводных коэффициентах, но и данные о возрасте (экологическом классе) по типам ТС. Третий Уровень предусматривает использование таких данных как годовые пробеги ТС с делением на экологические классы, также, данный уровень требует наивысшей степени детализации данных, например, таких как условия эксплуатации ТС, экологический класс, природно-климатические факторы, процент содержания углерода в топливе в зависимости от вида топлива и его

соответствия качеству и т.д.

Учитывая меньший вклад в эмиссию ПГ от дорожного строительства и содержания дорог, инструментарий инвентаризации выбросов ПГ только начал разрабатываться. Основные этапы дорожного строительства, на которых происходит выброс ПГ: подготовка территории перед строительством; производство строительных материалов (для конструктивных слоёв дорожной одежды и покрытия); обустройство дороги; доставка строительных материалов; строительные работы; контроль за состоянием дороги и ремонтные работы.

Выбросы ПГ для каждого этапа могут быть рассчитаны в зависимости от имеющегося оборудования, местных условий, и стандартов строительства и содержания.

Виды и объем потребляемых дорожным хозяйством ТЭР определяются номенклатурой работ по содержанию, ремонту и строительству автомобильных дорог, составом парка машин и механизмов, используемых в производственном процессе.

Для получения тепловой энергии используют следующие виды топлива: уголь (для отопления), мазут (в сушильных барабанах асфальтобетонных заводов и частично для отопления), газ (в сушильных барабанах АБЗ, для отопления), бензин и дизельное топливо (в двигателях внутреннего сгорания автомобилей и дорожных машин и механизмов), печное топливо (для отопления).

Электроэнергия используется для освещения автомобильных дорог, производственных помещений, для работы электроинструмента в мастерских, для работы различного назначения электромоторов (в мастерских, на АБЗ и т.п.), для получения тепловой энергии (в битумохранилищах для нагрева битума).

В основе количественной оценки выбросов ПГ дорожным хозяйством также используется трехуровневый методический подход, рекомендуемый Руководящими принципами МГЭИК [6].

Оценка выбросов ПГ дорожным хозяйством по упрощенной методике Уровня 1 основывается на данных о потреблении разных видов топливно-энергетических ресурсов при осуществлении строительства (реконструкции),

содержания, ремонта, капитального ремонта федеральных, региональных, местных автомобильных дорог разных технических категорий, усредненных рекомендуемых МГЭИК коэффициентах эмиссии ПГ (CO_2 , N_2O , CH_4) от сжигания разных видов топлив, получения тепловой и электрической энергии. Расчет выбросов ПГ дорожным хозяйством по методике Уровня 1 производится по формуле:

$$E_i = \sum_a \sum_k (FC_{ak} \cdot EF_{aTCE} \cdot EF_{aNCV} \cdot EF_{ia}) / 10^3, \text{ т/год} \quad (2.3)$$

где E_i – эмиссия парникового газа i , т/год; FC_{ak} – общая масса израсходованного энергоресурса вида a на автомобильных дорогах k -ой 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_{ia} – коэффициент выбросов парникового газа i по виду энергоресурса a , т/ТДж [6].

Метод Уровня 2 аналогичен методу Уровня 1, но только для расчета применяются региональные значения коэффициентов выбросов ПГ, базирующиеся на реальном содержании углерода в топливе, других энергоресурсах, потребляемых в регионе в течение года, а также используются данные о протяженности федеральных, региональных, местных автомобильных дорог разных категорий, построенных, отремонтированных, находящихся в эксплуатации в течение года в регионе и удельных расходах энергоресурсов (на единицу протяженности) при строительстве (реконструкции), содержании, ремонте (капитальном ремонте) дорог.

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

$$E_i = \sum_a \sum_k \sum_j (L_{kj} \cdot m_{akj} \cdot EF_{aTCE} \cdot EF_{aNCV} \cdot EF_{ia}) / 10^3, \text{ т/год} \quad (2.4)$$

где E_i – эмиссия парникового газа i , т/год; L_{kj} – прирост протяженности автомобильных дорог k -ой технической категории, построенных,

отремонтированных, находящихся в эксплуатации в рассматриваемый год, км; m_{akj} - - удельные выбросы парникового газа i на j -ом этапе ЖЦ (строительство, содержание, ремонт) дорог k -ой категории, т/км протяженности; EF_a_{TCE} – коэффициент пересчета в тонны условного топлива по виду энергоресурса a , т.у.т/т; EF_a_{NCV} – 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 [6].

Метод Уровня 3 (при наличии исходных данных) при оценке энергозатрат и выбросов ПГ использует детальное моделирование и предполагает учет характеристик используемой при строительстве (реконструкции), ремонте (капитальном ремонте) и содержании автомобильных дорог разных технических категорий, усредненных рекомендуемых МГЭИК коэффициентах эмиссии ПГ (CO_2 , N_2O , CH_4) от сжигания разных видов топлив, получения тепловой и электрической энергии, строительной-дорожной и транспортной техники, используемых технологий и материалов в жизненном цикле дорог разных технических категорий, природно-климатических и других факторов.

В таблице 2.2 приведены усредненные значения удельных выбросов CO_2 , рекомендуемые для выполнения более детальных расчетных оценок выбросов ПГ дорожным хозяйством. Они получены в результате обобщения сведений, полученных от территориальных органов управления дорожным хозяйством и федеральных автомобильных дорог общего пользования по итогам 2017 г., а также данных экспертов. Приведенные в таблице 2.2 удельные значения выбросов CO_2 на этапе содержания рекомендуется использовать для оценки выбросов ПГ в методике Уровня 2 (формула 2.4).

Таблица 2.2 – Показатели удельных выбросов CO₂ на дорогах разных категорий на разных этапах их ЖЦ, т CO₂/км протяженности (данные ФАУ «РОСДОРНИИ», экспертные оценки)

Наименование	Этап ЖЦ	Техническая категория дороги				
		I	II	III	IV	V
Федеральные дороги	Содержание	43,73	25,00	16,22	14,09	11,65
	Ремонт	533,28	271,70	195,84	190,16	52,05
	Капитальный ремонт	1556,92	713,82	544,34	526,10	175,33
	Строительство	2958,14	1356,26	1034,25	999,6	333,13
Региональные и межмуниципальные	Содержание	10,93	6,25	4,06	3,52	2,91
	Ремонт	133,32	67,93	48,96	47,54	13,01
	Капитальный ремонт	389,23	178,46	136,09	131,53	43,83
	Строительство	739,54	339,07	258,56	249,9	83,28
Местные (с твердым или переходным покрытием)	Содержание	2,19	1,25	0,81	0,71	0,58
	Ремонт	26,66	13,59	9,79	9,51	2,60
	Капитальный ремонт	77,85	35,69	27,22	26,31	8,77
	Строительство	147,91	67,81	51,71	49,98	16,66

Приведенные в таблице 2.3 показатели удельных выбросов CO₂ на дорогах разных категорий на разных этапах их ЖЦ учитывают специфику предприятий дорожного хозяйства, связанную с технологиями приготовления асфальто-цементобетонных смесей, производства дорожно-строительных работ, выполнения работ по строительству, реконструкции, капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог разных категорий.

Таблица 2.3 – Удельные выбросы ПГ при строительстве участков дорог разных типов и назначений

Тип элемента	т CO ₂ /км
Гравийная дорога	5,8
Велодорожка	20
Цементобетонная (низкий класс)	46,6
Загородная (местная) дорога	48,4
Цементобетонная (высокий класс)	103
Железная дорога	875
Городские дороги	1000...2200
Скоростные дороги	760...2500
Однополосное шоссе	1200
Четырехполосное шоссе	1390
Обход на высокой насыпи с большим количеством дренажных сооружений	4870

Для объектов дорожного хозяйства, верификация полученных результатов необходима по причине того, что расчёт необходимо проводить для одного объекта по нескольким типам ТС с различными видами потребляемого топлива и в зависимости от технологического этапа.

Указанную проблему проведения верификации полученных значений целесообразно решать, используя методы машинного обучения, так как указанный подход позволяет оценить эффективность и точность полученных результатов с помощью алгоритмов интеллектуального анализа данных, которые будут рассмотрены далее.

2.2 Методы интеллектуального анализа данных при оценке выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства

Для оценки достоверности получаемых результатов целесообразно применять метод машинного обучения использующий алгоритмы WEKA [64]. Данное программное обеспечение нашло широкое применение в области интеллектуального анализа данных, используя алгоритмы для предиктивного моделирования и анализа данных, с использованием методов кластеризации, классификации, выбора метода обучения и визуализации полученных результатов [65].

Необходимо отметить, что основной целью машинного обучения является оценка данных используемых при расчетах, подтверждение их правдоподобности и проведение прогнозной оценки на основании зависимостей установленных в процессе выполненного расчета. Машинное обучение зависит от следующих показателей:

1) Данные – основной и главный показатель, используемый в машинном обучении. Полнота данных определяет качество полученных результатов и соответственно влияет на прогнозную оценку, поэтому, сбор и анализ данных является наиболее значимым этапом при проведении интеллектуального анализа данных.

2) Признаки – для того, чтобы проводить интеллектуальный анализ данных для каждого используемого показателя необходимо признаковое описание, цель такого описания состоит в том, что присвоение признаков позволяет проводить оценку достоверности используемых данных или сопоставлять присвоенные признаки с данными которые, не имеют признакового описания и тем самым искать данные которые влияют на итоговый результат.

3) Алгоритм – каждая задача в которой применяются методы интеллектуального анализа данных требует выбора соответствующего алгоритма. Выбор алгоритма позволяет решить поставленную задачу разными методами интеллектуального анализа данных и тем самым определить, какой алгоритм является самым подходящим.

Интеллектуальный анализ данных представляет собой достаточно большой раздел, который состоит из различных алгоритмов и методов. Более наглядно пример схемы функционирования машинного обучения представлен на рисунке 2.1.

Из представленного рисунка видно, что машинное обучение разделено на два больших класса классическое и нейросетевое обучение. При решении практических задач наиболее часто прибегают к использованию классических методов, при этом самый эффективный способ обучения является обучение с учителем, так как пользователь учит машину соотносить признаки с объектами, таким образом, машина быстрее обучается и повышается точность получаемых результатов. Метод без учителя и нейросетевой анализ применяются для задач, в которых признаковое описание либо недостаточное, либо представляет собой сложный набор данных.

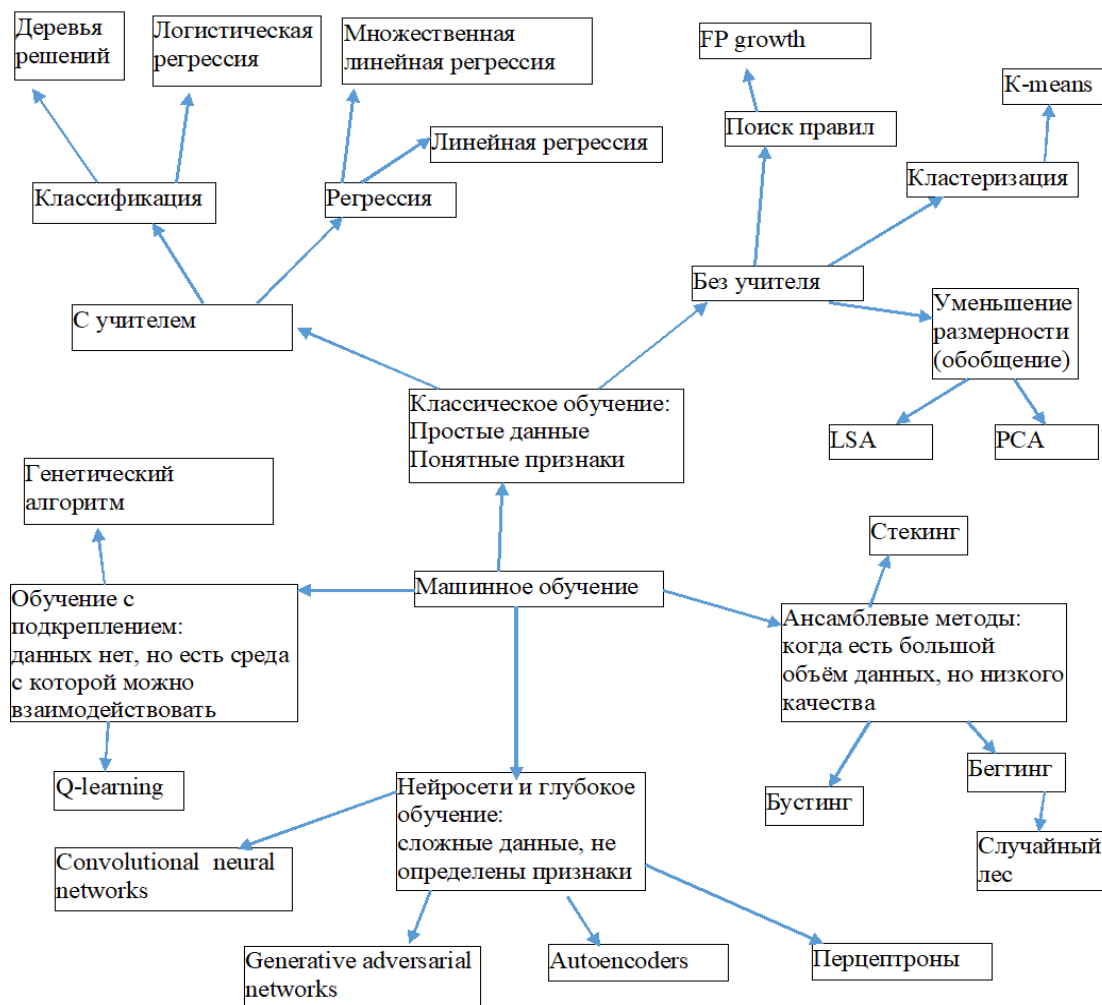


Рисунок 2.1 – Схема машинного обучения

В нашем случае, основная задача сводится к созданию качественной базы данных и описанию признаков присущих каждому показателю, входящему в базу. Набор данных по своей сути эквивалентен математической матрице, в которую вносятся основные исходные данные. Следует отметить, что набор данных представляет собой набор номинальных, числовых, бинарных, письменных и других данных, при этом каждый набор данных должен относиться к определенному классу, т.е. первая задача машинного обучения с учителем сводится к классификации – т.е. предсказание категории, к которой будет принадлежать объект. При этом задача пользователя сводится к заполнению, кластеризации и классификации базы данных с последующим определением необходимого

алгоритма машинного обучения, более наглядно пример использования алгоритма интеллектуального анализа данных для оценки выбросов ПГ представлен на рисунке 2.2.

Необходимо отметить, что важным элементом создания базы данных для машинного обучения является определение показателей т.е. тех ключевых параметров от которых будет зависеть обучение. Именно от показателей зависит установление зависимостей и связей, которые позволят сделать вывод о правильности произведённых расчётов.

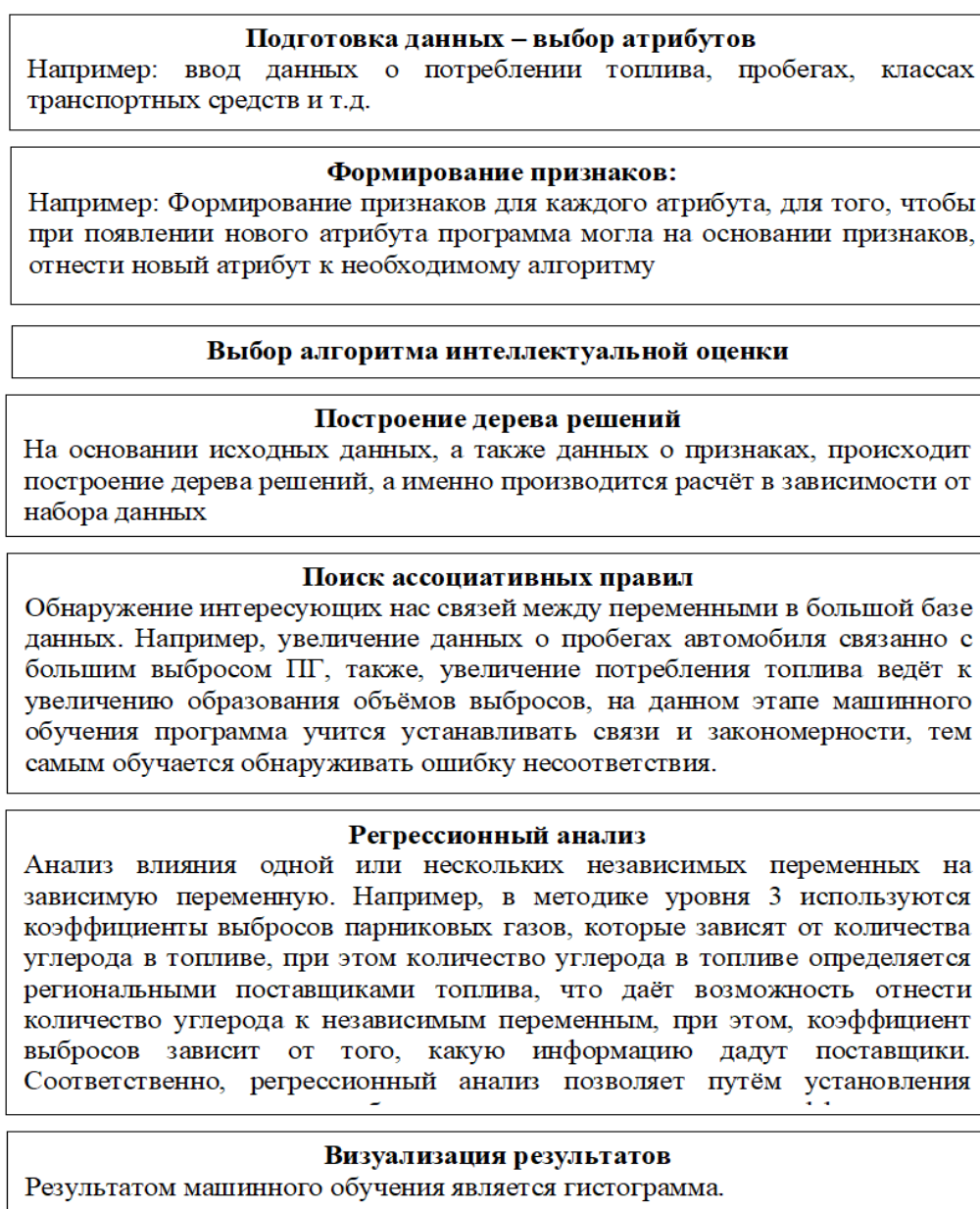


Рисунок 2.2 – Принцип применения алгоритма машинного обучения

2.2.1 Подготовка данных

Методики, на основании которых рассчитываются объемы выбросов парниковых газов отдельными видами транспорта (методики уровней 1, 2, 3), гармонизированы с международной методикой МГЭИК. Отраслевые методики предусматривают использование официальных статистических (при их отсутствии расчетных) данных по количеству сжигаемого топлива, национальных (региональных) коэффициентов выбросов ПГ, устанавливаемых в зависимости от вида моторного топлива с разделением на типы и экологические классы транспортных средств с учетом марочного состава транспортных средств, их годовых пробегов и других показателей (см. таблицу 2.1).

Достоверность исходных данных по указанным показателям для автомобильного транспорта сложно обеспечить из-за отсутствия нормативов удельных расходов топлива (на единицу пробега, транспортной работы) конкретными марками транспортных средств в Российской Федерации, а также из-за несовершенства системы статистического учета показателей транспортной работы и пробега транспортных средств.

Также, необходимость выполнения Федерального закона от 29.11.2007 №282-ФЗ «Об официальном статистическом учете и системе государственной статистики в Российской Федерации» делает официальные статистические данные в ряде случаев недоступными и неполными, например, в отношении деятельности городского электрического транспорта, потребления отдельных видов энергоресурсов (авиационного керосина, природного и углеводородного газов) и т.д.

В официальной статистике не отражается топливопотребление парка автомобилей, принадлежащих физическим лицам. Только юридические лица обязаны представлять статистическую отчетность. Однако большая часть парка транспортных средств принадлежит физическим лицам, которые не предоставляют статистическую отчетность о своей деятельности, в том числе по объемам

потребления топлива.

Указанные обстоятельства значительно затрудняют достоверную оценку валовых выбросов ПГ отдельными видами транспорта не только на региональном, но и на федеральном уровнях. В этой связи особую актуальность имеет проблема верификации и независимого аудита исходных данных.

Важно отметить, что для решения задачи составления базы данных исходной информации необходимо определить показатели, т.е. те данные, по которым программа будет оценивать достоверность полученных результатов путём увеличения показателей при реализации циклов машинного обучения.

Так как оценка выбросов ПГ производится одновременно для всех трёх уровней, то ниже представлен набор обязательных показателей для автомобильного транспорта (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Обязательные показатели для автомобильного транспорта и объектов дорожного хозяйства уровень 1 – 3

Год	Объем транспортной работы при выполнении грузовых перевозок т-км	Объем транспортной работы при выполнении пассажирских перевозок пасс.-км/год	Объем потребления бензинового топлива т/г	Объем потребления дизельного топлива т/г	Объем потребления сжиженного нефтяного газа тыс. м ³ /год	Объем потребления природного газа тыс. м ³	Объем потребления электроэнергии, тыс. Квт/год	Пробег тыс. км	Условия эксплуатации (городские или сельские дороги)	Коэффициент выбросов г/км
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Обязательные показатели, в таблице 2.4 получены из формул таблицы 2.1 и формул 2.3 и 2.4, данные показатели необходимы как базовые значения, по которым происходит расчёт выбросов ПГ. Для методов машинного обучения указанного количества показателей будет достаточно, чтобы запустить 11 циклов перекрёстной проверки и повысить точность проведённых расчётов, однако, использование в качестве исходных данных показателей представленных только в формулах таблицы 2.1 позволит повысить точность получаемых результатов, но не позволит провести верификацию, так как в данном случае программа осуществляющая машинное обучение ограничена в своём алгоритме только указанными показателями, т.е. для того чтобы программа научилась не только повышать точность полученных результатов но и устанавливать зависимости которые позволяли бы сделать вывод о правильности полученных результатов, программа должна обладать дополнительным набором показателей чтобы в процессе обучения установить как увеличение или уменьшение данных показателей влияет на итоговый результат. Именно поэтому, на основании информации о прогнозах развития транспортного сектора представленных выше, были сформированы дополнительные показатели (таблица 2.5) необходимые для проведения верификации. Соответственно, программа путём увеличения показателей учится устанавливать связи зависимости одних показателей от других. Например, известно, что объём потребления топлива ТС ведёт к увеличению среднегодового пробега, для подтверждения данного вывода, можно добавить показатель устанавливающий зависимость, что увеличение продаж автомобилей ведёт к увеличению потребления топлива, тогда программа учится устанавливать связи и выявлять как изменение показателей ведёт к изменению результатов, тем самым программа находит общую точку сходимости при использовании того или иного количества показателей и показывает, что указанное расчётное значение выбросов ПГ может считаться верным, так как проведённая верификация это подтвердила. Более подробное описание дополнительных показателей представлено ниже.

Таблица 2.5 – Дополнительные показатели для передвижных источников и объектов дорожного хозяйства уровень 1 – 3

Год	Цена за литр бензина	Цена за литр дизельного топлива	Цена за кубометр сжиженного нефтяного газа	Цена за кубометр природного газа	Цена за киловатт-час электроэнергии	Средняя скорость передвижения	Количество ТС	Население млн. чел.	Количество проданных ТС	Внутренний валовой продукт	Наличие платного паркинга и его стоимость	Наличие экологических зон
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Цена (за литр бензина и т.д.) – данный показатель позволяет установить, как ценообразование рынка нефтепродуктов влияет на потребление топлива и соответственно количество образующихся выбросов ПГ. В данном случае программа учится искать связь того, как рост или падение цен на топливо ведёт к изменению таких параметров как среднегодовой пробег и потребление топлива. Удобством данного показателя является также то, что данные по цене за литр топлива можно легко найти в свободном доступе в официальных статистических отчётах государственных органов статистики и топливных компаний.

Скорость передвижения – данный показатель позволяет установить зависимость того, как скорость движения влияет на режим работы двигателя и соответственно установить связь ведёт ли увеличение или уменьшение скорости движения ТС к увеличению или уменьшению выбросов ПГ.

Количество ТС - данный показатель позволят оценить насколько количество ТС влияет на выбросы ПГ, допустим, нам известно точное количество ТС в рассматриваемом регионе, в таком случае проведя оценку выбросов ПГ по трём уровням, программа сможет, изменяя количество ТС установить связь того, как данное количество влияет на такие параметры как пробег, образование выбросов, потребление топлива и т.д.

Население – данный показатель позволяет оценить насколько количество населения в рассматриваемом регионе влияет на количество используемых ТС, по сути, данный параметр характеризует автомобилизацию населения и то, как данная автомобилизация влияет на объём выбросов. В данном случае программа учится устанавливать связи, как количество населения влияет на количество ТС и прочие показатели.

Внутренний валовой продукт – является важным показателем, характеризующим общее экономическое развитие страны или региона, данный показатель также позволяет устанавливать связи насколько увеличение или уменьшение ВВП ведёт к образованию выбросов ПГ.

Наличие платного паркинга и его стоимость – данный показатель приобрел свою актуальность после активного внедрения на территории крупных городов зон

с платным паркингом, данный показатель носит локальный характер и позволяет оценить насколько эффективна политика по установлению таких зон не только относительно загруженности города, но и с точки зрения оказываемого экологического эффекта. В нашем случае, данный показатель также позволяет устанавливать зависимость как влияет цена и наличие зон на количество ТС, на условия эксплуатации ТС и т.д.

Наличие экологических зон – данный показатель также носит больше локальный характер, так как сейчас активно обсуждается вопрос о введении экологических зон в крупных городах, в которые будет запрещён въезд ТС низкого экологического класса, то данный показатель позволит оценить эффективность такой политики, так как он позволит программе научиться искать связь как наличие данных зон оказывает влияние на количество выбросов ПГ и насколько эффективна данная мера.

2.2.2 Формирование признаков

В нашем случае, для того чтобы машинное обучение было успешным, и проводимая верификация показывала высокий результат, важно описать признаки, присущие каждому показателю, для того, чтобы алгоритмы, используемые в машинном обучении, для каждого нового объекта (его признакового описания) смогли определить метку класса этого объекта и тем самым понижали бы ошибку отнесения показателя к другому классу.

В целом, процесс формирования признаков можно описать как выбор показателя или переменной в машинном обучении и статистике. Формирование признаков применяется для определения релевантности между объектами и помогает выявлять нерелевантные, избыточные или ошибочные переменные.

Метод формирования признаков помогает в достижении следующих целей [65 - 68]:

- сокращение времени вычисления и пространства, необходимого для запуска алгоритмов машинного обучения;
- для повышения прогнозирования классификаторов;
- для определения того, какие именно функции могут иметь отношение к проблеме не состыковки данных.

Необходимо отметить, что в процессе формирования признаков, необходимо уходить от ситуации несвязанных объектов, так как такие объекты не несут никакой полезной информации, а только увеличивают нагрузку на интеллектуальный анализ [65 - 71]. Выбор признаков является одним из наиболее частых и важных методов предварительной обработки данных и стал необходимым компонентом процесса машинного обучения [68, 69].

В данном исследовании был реализован метод фильтрации выбора признаков с использованием оценки показателей, реализованных в программном обеспечении WEKA, которые представляют собой матрицу, описанную ниже (таблица 2.6). Необходимо отметить, что признаки необходимо описать для того, чтобы при появлении нового (дополнительного) показателя программа могла на основании признаков, установленных для основных показателей, определить, является ли новый показатель значимым, может ли он быть использован для дальнейшей классификации и повысит ли он точность расчётов или наоборот покажет слишком большое расхождение [71 - 78].

Как видно из таблицы 2.6 основным показателям присвоены признаки, которые наиболее точно описывают те данные, от которых зависит правильность дальнейшей классификации и машинного обучения.

Таблица 2.6 – Описание признаков обязательных показателей для передвижных источников и объектов дорожного хозяйства

Объекты фильтрации									
Объем транспортной работы при выполнении грузовых перевозок млн. т-км	Объем транспортной работы при выполнении пассажирских перевозок пасс.-км/год	Объем потребления бензинового топлива т/г	Объем потребления дизельного топлива т/г	Объем потребления сжиженного нефтяного газа тыс. м ³ /год	Объем потребления природного газа тыс. м ³ /год	Объем потребления электроэнергии тыс. Квт/год.	Пробег, тыс. км/год	Условия эксплуатации (городские или сельские дороги)	Коэффициент выбросов г/км
Признаки объектов фильтрации									
1) Количество грузовых ТС 2) Количество перевезённого груза	1) Количество пассажирских ТС 2) Количество перевезённых пассажиров	1) Количество потребленного топлива легковыми ТС 2) Количество потребленного топлива грузовыми ТС 3) Количество потребленного топлива общественным транспортом	1) Количество потребленного топлива легковыми ТС 2) Количество потребленного топлива грузовыми ТС 3) Количество потребленного топлива общественным транспортом	1) Количество потребленного топлива легковыми ТС 2) Количество потребленного топлива грузовыми ТС 3) Количество потребленного топлива общественным транспортом	1) Количество потребленного топлива легковыми ТС 2) Количество потребленного топлива грузовыми ТС 3) Количество потребленного топлива общественным транспортом	1) Количество потребленного топлива легковыми ТС 2) Количество потребленного топлива грузовыми ТС 3) Количество потребленного топлива общественным транспортом	1) Пробег легковым и ТС 2) Пробег грузовым и ТС 3) Пробег городским пассажирским транспортом	1) Количество ТС зарегистрированных в городе 2) Количество ТС зарегистрированных в регионе 3) как часто задействован автомобиль для поездки на	1) объем углерода в топливе на национальном уровне 2) объем углерода в топливе на региональном уровне

Важно отметить, что количество признаков не ограничено, процесс присваивания признаков тому или иному показателю является творческим, но следует учитывать, что чем больше признаков присвоено тому или иному показателю, тем больше «информационного» загрязнения может получиться при использовании новых показателей, т.к. не всегда алгоритм машинного обучения способен выбрать из большого количества признаков наиболее важные, что влияет на итоговый результат. Поэтому при выборе признаков необходимо руководствоваться выбором наиболее значимых и существенных признаков, которые будут отображать основные зависимости данного показателя [78 - 82].

В данном исследовании принцип фильтрации признаков основан на методе кросс-валидации используемом в WEKA [82]. Суть данного метода фильтрации заключается в перекрёстной проверке набора признаков, т.е. в каждой итерации для валидации проводится разная раскладка данных, в то время как остальные значения признаков используются для дальнейшего обучения [76]. Изученные зависимости затем запрашиваются для прогнозирования набора необходимости внедрения новых показателей. Для каждого алгоритма доступны N-ое количество выборок метрики производительности, которые впоследствии могут быть усреднены для получения агрегированной меры [71]. В нашем исследовании, чтобы избежать проблемы переобучения, был использован метод перекрестной проверки входных данных (10-кратная проверка), представленный на рисунке 2.3.

Как видно из рисунка 2.3 основным показателям были присвоены признаки, которые характеризуют конкретный показатель, при этом в момент, когда каждому показателю присваивается свой признак, программа запоминает данные связи и воспринимает их как эталонные, т.е. в том случае, когда появляются новые показатели, программа методом установленных связей начинает перебирать признаки и подставлять их в новые показатели, при этом в случае отсутствия необходимого признака, программа сама, используя метод 10-кратной перекрестной проверки находит признаки присущие новым показателям.

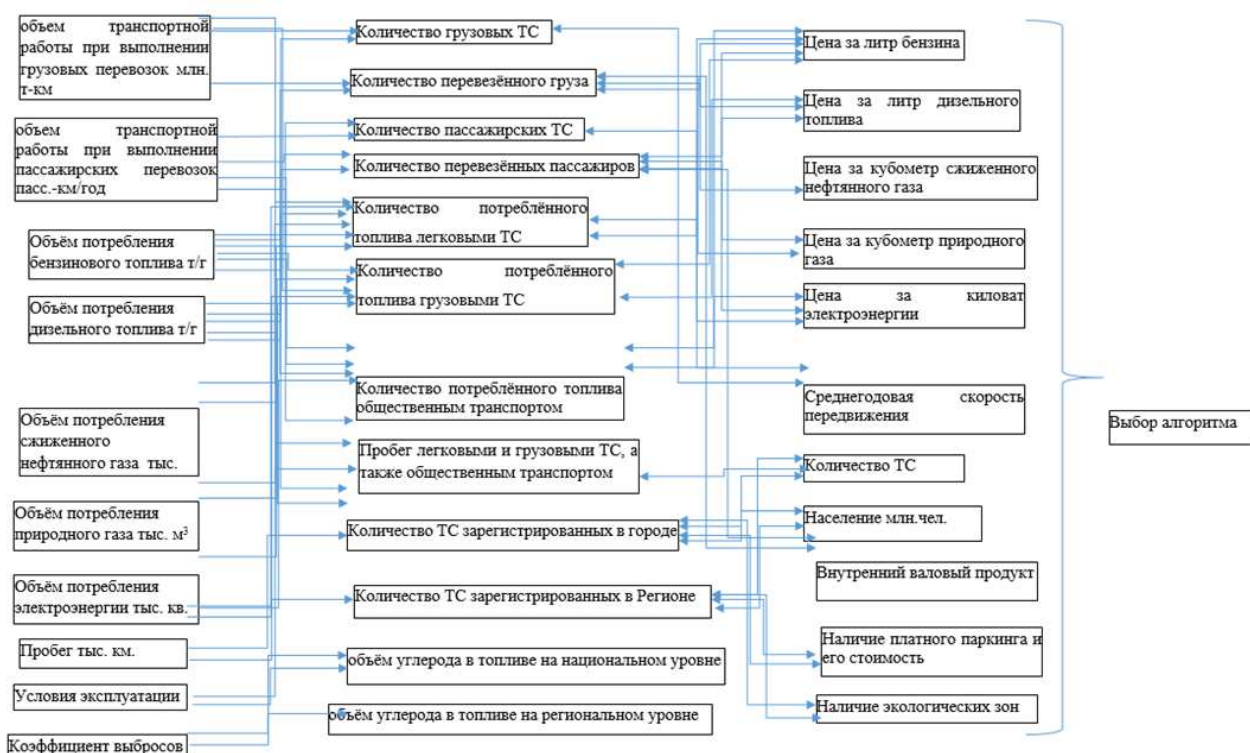


Рисунок 2.3 – 10-кратный метод перекрестной проверки входных данных

Следует отметить, что, например, появление такого нового показателя как «наличие экологических зон» может вызвать затруднение у программы при присвоении признаков, так как происходит бинарное определение признака, т.е. «да» - зоны есть или «нет» - зон нет, однако, в наших новых показателях присутствует «наличие платного паркинга и его стоимость», оба этих показателя схожи, поэтому программа заполнит показатель «наличие экологических зон» теми же признаками что и «наличие платного паркинга и его стоимость». Данная ситуация наглядно показывает, что присвоение признаков очень важный процесс и пользователь методики, должен уделять наибольшее внимание именно процессу описания признаков, т.к. неправильное присвоение признаков ведёт к понижению точности расчётов и соответственно верификации.

После того, как новым показателям присвоены признаки, следующим этапом является выбор алгоритма интеллектуального анализа.

2.2.3 Деревья решений (алгоритм С 4.5.)

Деревья решений относятся к алгоритмам контролируемого обучения и представляют собой класс логических методов интеллектуального анализа данных. Подход, который реализует данный метод – объединение некоего количества простых правил решения, что позволяет реализовывать алгоритм как интерпретируемый. Дерево решений можно охарактеризовать как бинарное дерево, в таком дереве каждой вершине соответствует правило вида « j -й признак имеет значение меньше b ». Данный алгоритм реализует модель при котором в листьях такого дерева указываются показатели-предсказания, для получения соответствующего ответа на выходе алгоритм начинает свою работу из корневой структуры и по мере продвижения в оценке используемых показателей делает переходы в левое или правое поддерево, исходя из условия выполняется правило или нет. При этом в узлах деревьев, которые не являются листьями находятся показатели, по которым различаются случаи. В листьях – указывается значения целевой функции, а на ребрах деревьев – значение показателя из которого выходит ребро [83 - 86].

Основа алгоритма деревьев решений заключается в классификации данных, и аппроксимации исследуемой функции, т.е. при условии наличия заданной функции f необходимо установить основные принципы работы такой функции при использовании объектов неизвестных данной функции.

Исследовательская задача при использовании деревьев решений сводится к тому, что нам даны показатели (параметры функции) и тестовые примеры $f(0,0,1)$, $f(0,1,1)$, $f(1,1,0)$, $f(1,1,1)$, а нам необходимо продолжить функцию на другие значения показателей $f(0,0,0)$ при этом сделать это необходимо точно и экономично [85].

В нашем случае задача применения деревьев решений сводится к обработке большого количества исходных данных, которые необходимы для расчётов и

поиска ошибки или нестандартных значений, т.е. имея большой набор данных мы можем оценить насколько они достоверны, а также способны спрогнозировать как эти данные могут измениться.

Чтобы классифицировать новый случай, необходимо пройти весь алгоритм дерева, т.е. пройти от корня до листа и выдать соответствующее значение. Ниже представлен рисунок 2.4 показывающий основу алгоритма деревьев решений.

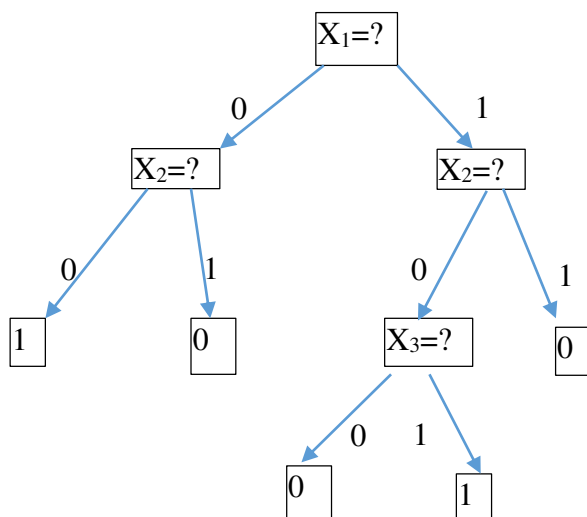


Рисунок 2.4 – Алгоритм реализации деревьев решений

На представленном рисунке дерево соответствует функции $f(x_1, x_2, x_3) = \overline{x_1} \overline{x_2} \vee x_1 \overline{x_2} x_3$.

Необходимо отметить, что деревья решений способны оценивать значимость применяемых признаков. Данный показатель оценивается по тому, насколько сильно произошло изменение в сторону улучшения критерия качества, если данный признак был применен в вершине дерева.

Алгоритм С 4.5. дерева решений, разбивает набор данных на группы, максимально похожие с точки зрения прогнозируемой переменной. Данный алгоритм принимает набор классифицированных данных, в нашем случае показатели которым присвоены признаки, и выводит дерево, похожее на диаграмму выравнивания, где каждый конечный узел (лист) является решением (классом), а каждый незаконченный узел (внутренний) представляет тест. Каждый лист представляет решение о принадлежности к классу данных, проверяющих путь

всех тестов от корня до листа [87]. Экземпляры классифицируются, начиная с корневого узла и сортируются на основе их значений [87 - 89].

В нашем случае наиболее подходящим алгоритмом будет являться С 4.5. [86]. Данный алгоритм требует описания показателей, что нами представлено в таблицах 2.4 и 2.5. Также, необходимо наличие классификации или признаковое описание показателей, что также представлено в таблице 2.6. Преимуществами данного алгоритма является тот факт, что он позволяет использовать показатели с разными весами, т.е. даже если какой-то показатель обладает большим количеством признаков, то алгоритм всё равно обработает все показатели, даже те, у которых может быть всего один признак [84 - 87].

В указанном алгоритме, дерево строится с учетом нисходящего подхода. Дерево инициализируется со строительством в корневом узле, где каждый показатель оценивается с помощью статистического критерия, для того чтобы определить эффективность классификации обучающих выборок. Лучший показатель выбирается в качестве теста в корневом узле дерева. Если показатель дискретный по своей природе, то для каждого возможного значения этого показателя создается корневой узел. Если показатель имеет непрерывный характер, то для каждого возможного дискретизированного интервала этого показателя создается «потомок» корневого узла [87].

На следующем шаге обучающие выборки сортируются в подходящий узел-потомок. Далее процесс повторяется с использованием обучающих выборок, связанных с каждым узлом-потомком, чтобы выбрать лучший показатель, определенный в этой точке дерева, для тестирования. Это формирует поиск (эвристика решения задач выбора локально оптимального варианта на каждом этапе в надежде найти глобальный оптимум) наилучшего решения для дерева решений. Во время этого процесса алгоритм распространяется в прямом направлении, т.е. алгоритм никогда не обрывается, чтобы пересмотреть более ранние выборы узла на предмет ошибки. Узел может быть введен в дерево только при наличии достаточного количества образцов, оставшихся от сортировки. После построения полного дерева, в алгоритме С 4.5. происходит обрезка деревьев

(уменьшение глубины/размера деревьев решений путем исключения частей, которые предоставляют мало информации для классификации экземпляров) обычно выполняется во избежание чрезмерной подгонки данных [88].

Важно отметить, что под статистическим тестом подразумевается применение меры на основе энтропии для выделения показателя каждому узлу дерева. Данные сортируются в каждом узле дерева для определения наилучшего показателя разбиения. Алгоритм С 4.5. использует метод коэффициента усиления для оценки показателя расщепления [88]. На каждом узле, алгоритм С 4.5. выбирает показатель данных, который лучше всего разбивает данные на подмножества, по полноте того или иного признака. Критерием выбора является нормализованный информационный выигрыш (разница в энтропии), возникающий в результате выбора показателя для разбиения данных. Энтропия является важным компонентом алгоритма дерева решений. Энтропия сначала определяет объем информации, предоставляемой событием, при этом чем выше вероятность события, тем больше информации данное событие предоставляет. Энтропию можно выделить следующим образом, если нам дано распределение вероятностей $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ и выборка S , то информация, переносимая этим распределением, также называемая энтропией P , дает:

$$E = - \sum_{i=1}^n p_i \times \log_2 p_i \quad (2.5)$$

Для принятия решения был выбран показатель с наибольшим нормализованным информационным коэффициентом [88].

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k} \quad (2.6)$$

Пусть мы имеем проверку X (в качестве проверки может быть выбран любой показатель), которая принимает n значений $A_1, A_2 \dots A_n$. Тогда разбиение T по проверке X даст нам подмножества $T_1, T_2 \dots T_n$, при X равном соответственно $A_1, A_2 \dots A_n$. Единственная доступная нам информация – то, каким образом классы

распределены в множестве T и его подмножествах, получаемых при разбиении по X . Именно данными условиями и воспользуемся при определении критерия.

Коэффициент усиления информации задается следующим выражением:

$$KC(p, T) = \frac{Gain(p, T)}{Splitinfo(p, T)} \quad (2.7)$$

где:

$$Gain(p, T) = \text{Энтропия}(p) - \sum_{j=1}^n (P_j \times \text{Энтропию}(P_j)) \quad (2.8)$$

$$Splitinfo(p, T) = - \sum_{j=1}^n p \left(\frac{j}{p} \right) \times \text{Log} \left(P \left(\frac{j}{p} \right) \right) \quad (2.9)$$

$P\left(\frac{j}{p}\right)$ - доля элементов, присутствующих в положении p , принимая значение j -го критерия [89].

Алгоритм построения дерева решений С 4.5. выглядит следующим образом:

Сначала необходимо задать показатели - объём потребления дизельного топлива т/г; объём потребления сжиженного нефтяного газа тыс. м³; объём потребления природного газа тыс. м³; объём потребления электроэнергии тыс. Квт.; пробег, тыс. км; коэффициент выбросов г/км.

Вторым этапом, необходимо задать условие, по которому будет проходить отбор необходимых показателей:

Если ({все показатели в списке принадлежат одному классу}), например, ({объем транспортной работы при выполнении грузовых перевозок и объем транспортной работы при выполнении пассажирских перевозок, по признаковому описанию относятся к одному классу, то})

Затем {создайте конечный узел, чтобы выбрать этот класс}), например, ({объем транспортной работы при выполнении грузовых перевозок и объем транспортной работы при выполнении пассажирских перевозок представляют собой класс с установленным набором признаков, от значения которых будет зависеть объём формируемых выбросов})

Если ({ни один из показателей не содержит какой-либо информации})

Затем {создайте узел принятия решений выше по дереву, используя

ожидаемое значение класса})

Если ({обнаружен показатель ранее неизвестного класса}), например, показатель стоимость топлива

Затем {создайте узел принятия решений выше по дереву, используя ожидаемое значение}), например, {для показателя стоимость топлива известно, что увеличение цены топлива приведёт к снижению пассажирских перевозок}

Далее, необходимо для каждого показателя оценить коэффициент усиления информации (нормализованный) при разбиении.

Необходимо отметить, что алгоритм дерева решений С 4.5. на каждом узле выбирает такой показатель, который лучше всего разбивает дерево на подмножества, которые содержат много информации о том или ином классе. Критерием выбора является нормализованный информационный выигрыш (разница в энтропии), который является результатом выбора показателя для разделения данных. Для принятия решения выбирается показатель с наибольшим нормализованным информационным выигрышем [88].

2.2.4 Деревья решений (алгоритм Random forest)

Алгоритм Random forest или алгоритм случайного леса относится к алгоритмам контролируемой классификации, который также решает задачи регрессии. Как следует из названия, принцип работы данного алгоритма заключается в создании целого ряда (леса) деревьев. Следует отметить, что при реализации данного алгоритма отслеживается такой показатель как количество деревьев решений, что влияет на конечную эффективность результатов и их точность [90 - 92].

Алгоритм случайного леса в большей степени относится к системе,

основанной на правилах классификации. Учитывая набор показателей с описанием признаков и их функциями, алгоритм дерева решений формирует определённый набор правил. При этом в алгоритме случайного леса вместо использования коэффициента усиления информации для вычисления корневого узла процесс поиска корневого узла и разделения узлов объектов происходит случайным образом. То есть алгоритм формирует множество деревьев решений и в случае решения задачи регрессии или классификации – усредняет результат полученных предсказаний. При этом, существенным преимуществом данного метода является то, что множество деревьев решений создается случайным образом, т.е. присутствует элемент случайности при создании каждого дерева. Так как в случае создания множества одинаковых деревьев, результат их усреднения будет обладать точностью одного дерева. Следует отметить, что каждая вершина дерева представляет собой точку разбиения данных. Вершина определяет некоторый простой критерий, по которому данные делятся на части [90 - 96].

Соответственно, задача алгоритма случайного леса сводится к многократному обучению алгоритма, используя случайные выборки из исходных данных. Данные в случайных выборках могут повторяться. То есть из набора 1-2-3 мы можем делать выборки 2-2-3, 1-2-2, 3-1-2 и т.д. На них мы обучаем один и тот же алгоритм несколько раз, а в конце вычисляем ответ простым голосованием [93].

В нашем случае задача классификации сводится к определению того, возможно ли использовать новые показатели для проведения верификации образующихся выбросов парниковых газов, т.е. у нас есть множество X известных показателей с описанием признаков и Y количество новых показателей без признакового описания, при этом на выходе мы должны получить показатели, для которых установлено признаковое описание. В данном случае остаются неочевидными только три вещи: как происходит выбор признака, по которому осуществляется разбиение показателей; как определяется пороговое значение признака; в какой момент алгоритм должен принять решение об остановке [95, 96].

Определение подходящего признака и его порогового значения для каждого показателя происходит путём полного перебора, то есть пробуются все возможные

способы разбиения данных по каждому из показателей и оценивается, насколько разбиение было удачным. Алгоритм останавливается в тот момент, когда дальнейшее разбиение не способно улучшить дерево, например, если в текущей вершине все элементы имеют одинаковое значение [97].

При использовании алгоритма дерева решений, каждый шаг характеризуется выбором признака и значения порога, по которому происходит оптимальное по заданному критерию разбиение.

Введем необходимые в дальнейшем обозначения:

N — общее число объектов в имеющихся данных (количество показателей представленных в таблице 2.4 и таблице 2.5);

M — общее число признаков в имеющихся данных (представлены в таблице 2.6);

D — матрица «объект–признак» размера $N \times M$;

$\alpha \in [0; 1]$ — доля выбранных в подвыборку объектов от общего числа объектов;

$\beta \in [0; 1]$ — доля выбранных для подвыборки признаков от общего числа признаков;

$V(\alpha, \beta, D)$ — множество всех случайных подвыборок размера αN , в которой каждый объект описан βM признаками;

$R(\alpha, \beta, D) \in V(\alpha, \beta, D)$ — некоторая случайная подвыборка размера αN , в которой каждый объект описан βM признаками.

Основываясь на введенных обозначениях, можно описать алгоритм построения дерева в виде следующего псевдокода:

Вход: α, β, D, T – т.е. набор показателей;

Выход: модель;

1. для $t = 1, \dots, T$

2. Выбрать случайную $R(\alpha, \beta, D)$ из множества $V(\alpha, \beta, D)$, т.е. в нашем случае для обязательных показателей уже установлен набор признаков (см. таблица 2.4), соответственно, дальнейшее построение дерева происходит путём перебора установленных признаков для новых показателей.

3. Обучить модель m_t для $R(\alpha, \beta, D)$ – именно на данном этапе происходит обучение и происходит процесс построения деревьев с отобранными признаками.

4. Агрегировать модели m_i в итоговую модель Model.

Несмотря на то, что в определенный момент показатели разных классов значительно перемешаны, при помощи дерева решений с такой выборкой достаточно удобно работать: на каждом шаге необходимо выбирать признак и значения порога, по которому происходит оптимальное по заданному критерию разбиение. При этом, для задачи классификации используется критерий $iGain$:

$$iGain(S) = H(S) - \sum_{v \in C} \frac{S_v}{S} H(S_v), \quad (2.10)$$

$$H(S) = - \sum_{c \in C} p_c \log_2(p_c) \quad (2.11)$$

где C – множество классов рассматриваемой задачи, а p_c – вероятность класса c для множества объектов S [97].

Следует отметить, что при каждом делении все объекты делятся на две более мелкие группы, т.е. рассматриваемая в каждом из узлов задача разбивается на две более мелкие подзадачи. Заданием максимального числа объектов в вершине-листе дерева устанавливается один из возможных критериев останова для алгоритма.

2.2.5 Множественная линейная регрессия

Алгоритм множественной линейной регрессии применим, когда результаты задачи являются числовыми и все входные показатели являются непрерывными. Целью линейного регрессионного анализа является оценка относительного влияния предикторной переменной на конкретный результат. Регрессия с одним показателем называется простой линейной регрессией, а регрессия с несколькими показателями называется множественной линейной регрессией. Линейная регрессия является важным инструментом при построении блоков машинного обучения [90 - 92].

Линейная регрессия помогает в легкой подгонке моделей, которая линейно зависит от их показателей. Линейные регрессии широко используются статистическим инструментом в различных практических приложениях, большинство из которых - прогнозирование и прогнозное моделирование [93].

В нашем случае постановка задачи применения линейной регрессии сводится к тому, что необходимо не только обработать большой объем исходных данных и выявить ошибки, но и к тому, чтобы спрогнозировать как изменение показателей повлияет на итоговое значение выбросов ПГ.

Соответственно, сначала, 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 примет вид [90 - 93]:

$$Y_i = \beta_0 + X_{i1}\beta_1 + X_{ik}\beta_k + e_i \quad (2.12)$$

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.

В таком случае значения неизвестных параметров будут рассчитываться с использованием обучающих данных. Предположим, первый экземпляр будет иметь зависимое значение переменной y_1 и независимые значения переменной как $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k}$, где значение индекса 1 обозначает, что это первый показатель который попал под регрессию.

Тогда прогнозируемое значение зависимой переменной первого показателя может быть записано как [82]:

$$x_{10}\beta_0 + x_{11}\beta_{11} + x_{12}\beta_{12} + x_{1k}\beta_k = \sum_{j=0}^k x_{1j}\beta_j \quad (2.13)$$

Разница между прогнозируемым и фактическим значением имеет жизненно важное значение в линейной регрессии. Основной методикой линейной регрессии

является выбор значений неизвестных параметров β_k и β_0 (константа/смещение) для минимизации суммы квадратных ошибок по всем новым показателям.

Тогда сумма квадратов разницы по всему учебному экземпляру равна:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \sum_{j=0}^k x_{ik} \beta_k)^2 \quad (2.14)$$

где выражение $\sum_{i=1}^n (y_i - \sum_{j=0}^k x_{ik} \beta_k)^2$ - это разница между фактическим классом i -го показателя и его прогнозируемым классом.

Необходимо отметить, что множественная линейная регрессия предполагает наличие прямой зависимости между предикторами и ответом. Если истинные связи не линейные, то практически все выходные данные линейной регрессии могут быть ошибочными. В нашем случае связи показателей и их признаков установлены и представлены в таблице 2.6. Наличие установленных связей позволит при выполнении верификации данных исключить возможность возникновения ошибки в связях с новыми показателями.

Выводы по главе

Разработана и теоретически обоснована методика определения выбросов ПГ от автомобильного транспорта и объектов дорожного хозяйства. В методике описаны основные используемые формулы необходимые для расчётов выбросов ПГ (см. таблицу 2.1 и формулу 2.3). Также описаны методы машинного обучения, с помощью которых необходимо проводить верификацию полученных результатов.

Первым этапом после проведения расчётов выбросов ПГ, для дальнейшей верификации необходимо определить основные показатели, по которым программа будет проводить оценку эффективности и правильности используемых данных. Для этого предложено использовать три метода: метод множественной

линейной регрессии, а также методы деревьев решений - алгоритм С 4.5. и Random Forest (случайный лес).

Метод множественной линейной регрессии - в нашем случае постановка задачи применения линейной регрессии сводится к тому, что необходимо не только обработать большой объём исходных данных и выявить ошибки, но и к тому, чтобы спрогнозировать как изменение исходных данных повлияет на итоговое значение выбросов ПГ.

Дерево решений, алгоритм С 4.5. – данный алгоритм реализует модель при котором в листьях такого дерева указываются показатели-предсказания, для получения соответствующего ответа на выходе алгоритм начинает свою работу из корневой структуры и по мере продвижения в оценке используемых показателей делает переходы в левое или правое поддерево, исходя из условия выполняется правило или нет. При этом в узлах деревьев, которые не являются листьями находятся показатели, по которым различаются случаи. В листьях – указывается значения целевой функции, а на ребрах деревьев – значение показателя из которого выходит ребро.

Основа алгоритма деревьев решений заключается в классификации данных, и аппроксимации исследуемой функции, т.е. при условии наличия заданной функции f необходимо установить основные принципы работы такой функции при использовании объектов неизвестных данной функции.

Алгоритм Random forest или алгоритм случайного леса относится к алгоритмам контролируемой классификации, который также решает задачи регрессии. Как следует из названия, принцип работы данного алгоритма заключается в создании целого ряда (леса) деревьев.

С помощью применения указанных методов программа оценивает среднеквадратичную ошибку и эффективность верно классифицированных данных, т.е. итоговым результатом является оценка достоверности получаемых результатов. При этом, для целей прогнозирования или дополнительной верификации, необходимо определить дополнительные показатели.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Общие замечания и исходные данные

В качестве пилотного региона рассматривается г. Санкт-Петербург. Апробация методики проводилась за период с 2014 по 2018 гг. включительно. Выбор данного региона и периода обуславливается тем, что по Санкт-Петербургу имеется наиболее полная и достоверная информация о транспортной работе представленная в открытых источниках, а также в официальных отчетах по статистике.

Отраслевые методики, на основании которых рассчитываются объемы выбросов парниковых газов автомобильным транспортом (методики уровней 1, 2, 3), гармонизированы с международной методикой МГЭИК и нормативными методиками Министерства Природных Ресурсов России [36]. Отраслевые методики предусматривают использование официальных статистических (при их отсутствии расчетных) данных по количеству сжигаемого топлива, национальных (региональных) коэффициентов выбросов ПГ, устанавливаемых в зависимости от вида моторного топлива с разделением на типы и экологические классы транспортных средств с учетом марочного состава транспортных средств, их годовых пробегов и других показателей.

Достоверность исходных данных по указанным показателям для всех видов транспорта сложно обеспечить из-за отсутствия нормативов удельных расходов топлива (на единицу пробега, транспортной работы) конкретными марками транспортных средств в Российской Федерации, а также из-за несовершенства системы статистического учета показателей транспортной работы и пробега транспортных средств.

Это, в первую очередь, касается автомобильного транспорта, выбросы

парниковых газов которого составляют 2/3 суммарных выбросов ПГ транспортным комплексом.

К сожалению, необходимость выполнения Федерального закона от 29.11.2007 №282-ФЗ «Об официальном статистическом учете и системе государственной статистики в Российской Федерации» делает официальные статистические данные в ряде случаев недоступными и неполными, например, в отношении деятельности городского электрического транспорта, потребления отдельных видов энергоресурсов (авиационного керосина, природного и углеводородного газов) и т.д.

В официальной статистике не отражается топливопотребление парка автомобилей, принадлежащих физическим лицам. Только юридические лица обязаны представлять статистическую отчетность. Однако, большая часть парка транспортных средств принадлежит физическим лицам, которые не предоставляют статистическую отчетность о своей деятельности, в том числе по объемам потребления топлива.

Указанные обстоятельства значительно затрудняют достоверную оценку валовых выбросов ПГ отдельными видами транспорта не только на региональном, но и на федеральном уровнях. В этой связи особую актуальность имеет проблема верификации и независимого аудита исходных данных.

Для получения достоверных расчетных оценок валовых выбросов ПГ транспортом региона (настройки принимаемых коэффициентов и значений отдельных показателей) в отраслевых методиках для разных видов транспорта предусматривается выполнение расчетов одновременно по методикам уровней 1, 2 и 3 с использованием в них ранее апробированных и широко используемых методик расчета требуемых исходных данных, отсутствующих по тем или иным причинам в официальной статистике.

Это, в первую очередь, относится к автомобильному и городскому электрическому транспорту в части оценки объемов энерго- и топливопотребления, годовых пробегов, экологических классов отдельных транспортных средств, собственниками которых являются физические лица.

Для оценки объема конечного потребления разных видов моторных топлив и энергии (млн т.у.т./год) по видам транспорта применяются удельные выбросы ПГ на единицу сожженного топлива (первичного энергоресурса) - национальные коэффициенты (таблица 3.1), разработанные для использования в Национальном докладе по кадастру выбросов парниковых газов с учетом вида и элементного состава топлив, применяемых в России.

Таблица 3.1 – Расчетные коэффициенты перевода в энергетические единицы и коэффициенты выбросов диоксида углерода (т CO₂/ТДж)

Наименование типа топливных ресурсов	Единица измерения	Коэффициент перевода натуральных единиц в энергетические		Коэффициент выброса CO ₂ , тCO ₂ /ТДж
		тыс. т.у.т./ ед.	ТДж/ед.	
1	2	3	4	5
Нефть, включая промышленный газоконденсат	тыс. т.	1,43	41,91	73,3
Автомобильный бензин	тыс. т.	1,49	43,67	69,3
Авиационный керосин	тыс. т.	1,47	43,08	71,5
Другие виды керосина	тыс. т.	1,47	43,08	71,9
Дизельное топливо	тыс. т.	1,45	42,5	74,1
Мазут топочный	тыс. т.	1,37	40,15	77,4
Мазут флотский	тыс. т.	1,43	41,91	77,4
Топливо печное бытовое	тыс. т.	1,45	42,5	77,4
Сжиженный нефтяной газ	тыс. т.	1,57	46,01	63,1
Другие моторные топлива	тыс. т.	1,47	43,08	71,9
Нефтебитум	тыс. т.	1,35	39,57	80,7
Нафта (лигроин)	тыс. т.	1,536	45,01	73,3
Смазочные материалы, парафины	тыс. т.	1,372	40,2	73,3
Газ нефтеперерабатывающих заводов	тыс. т.	1,5	43,96	57,6
Нефтяной кокс	тыс. т.	1,08	31,65	97,5
Другие нефтепродукты	тыс. т.	1,43	41,91	73,3
уголь донецкий	тыс. т.	0,876	25,67	90,2
уголь кузнецкий	тыс. т.	0,867	25,41	91,9
уголь подмосковный	тыс. т.	0,335	9,82	95
уголь воркутинский	тыс. т.	0,822	24,09	92,6
уголь челябинский	тыс. т.	0,552	16,18	94,9
уголь прочих месторождений	тыс. т.	0,768	22,51	94,2
Природный газ	млн. м ³	1,154	33,82	54,4

Значения коэффициентов выбросов ПГ на единицу потребленной электроэнергии (кВт·ч) рассчитаны на основе единого топливно-энергетического баланса, и коэффициентов выбросов ПГ от сжигания топлива, рекомендованных Методическими рекомендациями по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации [36] (с учетом потерь электроэнергии в электрических сетях). Полученные значения равны: для CO_2 – 435 г/кВт·ч; для CH_4 – 0,00723 г/кВт·ч; для N_2O – 0,0033 г/кВт·ч.

Оценка выбросов парниковых газов всеми видами транспорта в пилотном регионе осуществлялась по методикам уровней 1, 2 и 3 на основе данных за 2014-2018 гг. Были установлены удельные значения выбросов ПГ по перевозке грузов и пассажиров в целом по России (методика уровня 1), которые использовались при расчетах выбросов ПГ для пилотного региона.

3.1.2 Оценка выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства в пилотном регионе (методика уровней 1-3)

3.1.2.1 Методика уровня 1

Перечень исходных данных:

Исходными данными для определения объемов выбросов парниковых газов автомобильным транспортом по методике уровня 1 являются:

- общий расход топлива (энергоресурсов) по видам деятельности транспортных организаций автомобильного транспорта;
- расход моторного топлива автомобильным транспортом;
- удельные (на единицу пробега или транспортной работы) выбросы парниковых газов автотранспортными средствами.

Требуемые исходные данные содержатся в форме №4-ТЭР «Сведения об использовании топливно-энергетических ресурсов» о расходах моторного топлива (по видам топлива) по Санкт-Петербургу за 2014-2018 гг. по основным видам экономической деятельности транспортного комплекса (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Перечень исходных данных для расчета выбросов ПГ по методике уровня 1

Потребляемый топливно-энергетический ресурс (ТЭР)	Израсходовано за отчетный период
	г. Санкт - Петербург
Автомобильный бензин, т	-
Дизельное топливо, т	-
Газ природный и попутный, тыс. м ³	-
Газ природный и попутный в качестве моторного топлива, тыс. м ³ .	-
Пропан и бутан, сжиженные, газы углеводородные и их смеси сжиженные прочие, не вошедшие в другие группировки, т	-
Уголь прочих месторождений, т	-
Электроэнергия, тыс. кВтч	-
Другие виды...	-

Форма № 4-ТЭР была представлена по запросу в территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по г. Санкт-Петербургу.

Статистически достоверные показатели расхода моторного топлива, потребления электроэнергии, газа и угля на автомобильном и городском электротранспорте Санкт-Петербурга за 2014-2018 г. приведены в таблицах 3.3 – 3.7, которые взяты из формы №4-ТЭР «Сведения об использовании топливно-энергетических ресурсов».

Таблица 3.3 – Деятельность автомобильного (автобусного) пассажирского транспорта, подчиняющегося расписанию в г. Санкт-Петербурге

Вид топлива	2014	2015	2016	2017	2018
Бензин автомобильный, тонн	2875	2987	3476	3915	4128
Керосин, включая топливо реактивное керосиновое, тонн	-	-	-	-	-
Топливо дизельное, тонн	100987	101456	101764	102451	106014
Пропан и бутан, сжиженные газы их смеси сжиженные прочие	-	-	-	-	-
Газ природный и попутный, тыс. м куб.	2542	2578	2642	2672	2843
Газ природный и попутный, тыс. м куб.	59	63	67	71	78

Таблица 3.4 – Деятельность прочего сухопутного транспорта в г. Санкт-Петербурге

Вид топлива	2014	2015	2016	2017	2018
Бензин автомобильный, тонн	12436	12786	12968	13230	13638
Керосин, включая топливо реактивное керосиновое, тонн	-	-	-	-	-
Топливо дизельное, тонн	163374	165489	167563	168825	169772
Газ природный и попутный, тыс. м куб.	105294	105438	105698	105774	105983
Газ природный и попутный в качестве моторного топлива, тыс. м куб.	60	61	61	62	62
Пропан и бутан, сжиженные, газы углеводородные и их смеси сжиженные прочие, не вошедшие в другие группировки, тонн	648	651	647	674	-
Уголь, тонн	344	356	368	370	386
Потреблено электроэнергии, тыс. кВт.ч.	75238	75673	76483	78308	80120

Таблица 3.5 – Деятельность автомобильного грузового транспорта в г. Санкт-Петербурге

Вид топлива	2014	2015	2016	2017	2018
Бензин автомобильный, тонн	4241	4364	4769	4959	5510
Керосин, включая топливо реактивное керосиновое, тонн	-	-	-	-	-
Топливо дизельное, тонн	51366	51769	52264	52749	53564
Газ природный и попутный, тыс. м куб.	189364	191265	195476	-	-
Газ природный и попутный в качестве моторного топлива, тыс. м куб.	165	171	186	-	-
Уголь, тонн				-	-

Таблица 3.6 – Вспомогательная и дополнительная транспортная деятельность в г. Санкт-Петербурге

Вид топлива	2014	2015	2016	2017	2018
Бензин автомобильный, т	12864	12957	13411	13691	14211
Топливо дизельное, т	72354	73211	73989	74970	76211
Газ природный и попутный, тыс. м куб.	39644	43265	47509	50847	52341
Пропан и бутан, сжиженные, газы углеводородные и их смеси сжиженные прочие, не вошедшие в другие группировки, т	101	124	141	147	153
Потреблено электроэнергии, тыс. кВт.ч.	203461	21573	228202	236610	243855

Таблица 3.7 – Деятельность городского электрического транспорта в г. Санкт-Петербурге

Вид топлива	2014	2015	2016	2017	2018
Бензин автомобильный, тонн	-	-	-	-	-
Топливо дизельное, тонн	-	-	-	-	-
Газ природный и попутный, тыс. м куб.	-	-	-	-	-
Газ природный и попутный в качестве моторного топлива, тыс. м куб.	-	-	-	-	-
Уголь, тонн	-	-	-	-	-

Следует указать, что отсутствующие в таблицах 3.3 – 3.7 значения, обозначенные как «-», не предоставляются органами статистики на основании Федерального закона от 29.11.2007 №282-ФЗ, предусматривающего обеспечение конфиденциальности первичных статистических данных, полученных от организаций.

Значения удельных выбросов CO₂ на единицу транспортной работы городского электротранспорта при осуществлении пассажирских перевозок (г/пасс.·км) с учетом высокой загрузки (утренний расчетный час-пик) принимались на основании рекомендаций Глобального экологического фонда [11]. Суммарная транспортная работа городского электротранспорта г. Санкт-Петербурга (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Исходные данные расчета выбросов ПГ от городского электротранспорта (уровень 1) г. Санкт-Петербурга

Пассажирооборот транспорта общего пользования, млн пасс.км	2014	2015	2016	2017	2018	Удельный выброс CO ₂ , г/пасс.·км
Наземный городской электрический	1109,11	1221,31	1376,54	1401,65	1439,55	130
Метрополитен	7078,21	7147,67	7349,2	7693,4	7863,08	

Коэффициенты перевода натуральных показателей потребления ТЭР в единицы условного топлива и коэффициенты удельных выбросов ПГ приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Потребление энергоресурсов и удельные выбросы ПГ автомобильным транспортом г. Санкт-Петербурга по видам топлива (2014-2018 г.).

Виды ТЭР	Израсходовано за отчетный период	Коэффициент, ТДж/ед.	Энергии всего, ТДж	Коэффициент выброса CO ₂ , т/ТДж (*кг/тыс. кВт·ч для ЭЭ)
	СПб		СПб	
Автомобильный бензин, т	35685	43,67	1558,36	69,30
Дизельное топливо, т	411092	42,5	17471,41	74,10
Газ природный и попутный, тыс. м куб.	158871	33,82	5373,02	54,40
Газ природный и попутный в качестве моторного топлива, тыс. м куб.	124	33,82	4,19	54,40
Пропан и бутан, сжиженные, газы углеводородные и их смеси сжиженные прочие, не вошедшие в другие группировки, т	1149	46,01	52,87	63,10
Уголь прочих месторождений, т	2748	22,51	61,86	94,20
Потреблено электроэнергии, тыс. кВт.ч.	1019692	-	-	435,00

Данные о потреблении угля и электроэнергии в таблице 3.9 относятся только к стационарным объектам автомобильного транспорта. Кроме того, в таблице отсутствуют данные о потреблении топлива автомобилями физических лиц.

Валовые выбросы CO₂ передвижными источниками автомобильного транспорта по методике уровня 1 (при отсутствии данных о потреблении ТЭР по типам и классам ТС) определяются по формуле:

$$E_{CO_2} = \sum_a (AD_a \cdot EF_a) / 10^3, \text{ т/год}, \quad (3.1)$$

где a – тип топлива (бензин, дизтопливо, природный газ, сжиженный нефтяной газ и т.д.); AD_a – данные о потреблении топлива или другого энергоресурса типа a , ТДж/год; EF_a – коэффициент выбросов CO₂ для топлива или другого энергоресурса типа a , кг/ТДж.

В таблице 3.10 представлены результаты расчета валовых выбросов ПГ автомобильным транспортом пилотного региона по методике уровня 1 с

использованием исходных данных официальной статистики, приведенных в таблицах 3.2 – 3.9.

Таблица 3.10 – Валовые выбросы ПГ автомобильным транспортом г. Санкт-Петербурга по видам топлива, т/год (2014-2018 г.)

Виды ТЭР	Масса выброса CO ₂				
	2014	2015	2016	2017	2018
Автомобильный бензин, т	462502	464849	469378	4768351	487209
Дизельное топливо, т	5735251	5784172	5876729	5908350	5931251
Газ природный и попутный, тыс. м куб.	918411	956219	986219	992487	998357
Газ природный и попутный в качестве моторного топлива, тыс. м куб.	19148	19456	19764	19859	19954
Пропан и бутан, сжиженные, газы углеводородные и их смеси сжиженные прочие, не вошедшие в другие группировки, т	98236	98374	99679	99825	104080
Уголь прочих месторождений, т	351210	356110	378470	372661	374810
Потреблено электроэнергии, тыс. кВт.ч.	1856412	1867826	1887826	1899365	1908915
ВСЕГО, млн. т	9,121	9,216	9,377	9,648	9,825

Оценка валовых выбросов CO₂ городским наземным электротранспортом (трамваи, троллейбусы) за 2014 - 2018 гг. произведена с использованием методики уровня 1 на основании данных о транспортной работе электротранспорта при осуществлении пассажирских перевозок и удельных (на единицу транспортной работы) выбросов CO₂.

Из-за отсутствия достоверных данных по энергозатратам на выполнение транспортной работы метрополитена, косвенные выбросы ПГ метрополитеном в пилотном регионе не учитываются.

Из-за неполноты исходных данных валовые выбросы ПГ автомобильным и городским наземным электрическим транспортом г. Санкт-Петербурга в период с 2014 по 2018 гг. при расчете по методике уровня 1 составили 47,182 млн. т CO₂ (без учета выбросы ПГ автотранспортными средствами физических лиц).

Полученное значение валовых выбросов ПГ передвижными источниками автомобильного транспорта является неполным из-за отсутствия статистических

данных о топливопотреблении автотранспортных средств физических лиц и нуждается в уточнении по методикам уровней 2 и 3.

Оценка выбросов ПГ дорожным хозяйством по методике Уровня 1 основывается на данных о потреблении разных видов топливно-энергетических ресурсов при осуществлении строительства (реконструкции), содержания, ремонта, капитального ремонта федеральных, региональных, местных автомобильных дорог разных технических категорий.

Расчет выбросов ПГ дорожным хозяйством по методике Уровня 1 производится по формуле 3.2 на основе усредненных рекомендуемых МГЭИК коэффициентах эмиссии парниковых газов (CO_2 , N_2O , CH_4) от сжигания разных видов топлив, получения тепловой и электрической энергии.

$$E_i = \sum_a \sum_k (FC_{ak} \cdot EF_{aTCE} \cdot EF_{aNCV} \cdot EF_{ia}) / 10^3, \text{ т/год} \quad (3.2)$$

где E_i – эмиссия парникового газа i , т/год; FC_{ak} – общая масса израсходованного энергоресурса вида a на автомобильных дорогах k -ой 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.

Сведения о расходах моторного топлива и угля предприятиями дорожного хозяйства г. Санкт-Петербурга 2014-2018 гг. представлены в таблицах 3.11, 3.12 и 3.13.

Таблица 3.11 - Эксплуатация автомобильных дорог общего пользования

Вид топлива	2014	2015	2016	2017	2018
Бензин АТС, тонн	782	794	809	847	922
Топливо дизельное, тонн	4621	4711	4982	5014	5190
Уголь, тонн	1971	1984	1996	2089	2311

Таблица 3.12 – Производство общестроительных работ по строительству автомобильных дорог в г. Санкт-Петербурге

Вид топлива	2014	2015	2016	2017	2018
Бензин автомобильный, тонн	1309	1387	1412	1487	1596
Топливо дизельное, тонн	22511	22983	23624	23850	24018
Газ природный и попутный, тыс. м.куб.	-	121	-	-	-
Уголь, тонн	-	-	-	-	-

Таблица 3.13 – Потребление топлива предприятиями дорожного хозяйства в г. Санкт-Петербурге

Потребление топлива по видам	2014	2015	2016	2017	2018
Автомобильный бензин, т	1960	1985	2101	2327	2570
Дизельное топливо, т	29561	29786	30128	31455	30624
Уголь прочих месторождений, т	3121	2788	2541	2165	2089

Так же при расчете выбросов ПГ по методикам Уровней 1 и 2 можно опираться на интегральные средневзвешенные значения удельных выбросов для построенных (реконструированных) или отремонтированных федеральных и региональных автомобильных дорог в рассматриваемом году. Выбросы ПГ на этапе строительства (реконструкции) и ремонта (капитального ремонта) рассчитываются на всю протяженность федеральных и региональных дорог всех технических категорий за исключением грунтовых (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Значения удельных выбросов CO₂ на дорогах разных видов на этапе строительства (реконструкции) и ремонта (капитального ремонта), т CO₂/км протяженности (экспертные оценки ФГУ РосДОРНИИ и МАДИ)

Этап жизненного цикла	Федеральные дороги	Региональные и межмуниципальные дороги	Местные дороги
Строительство (реконструкция)	1070,0	739,0	51,7
Ремонт (капитальный ремонт)	271,7	133,8	10,0

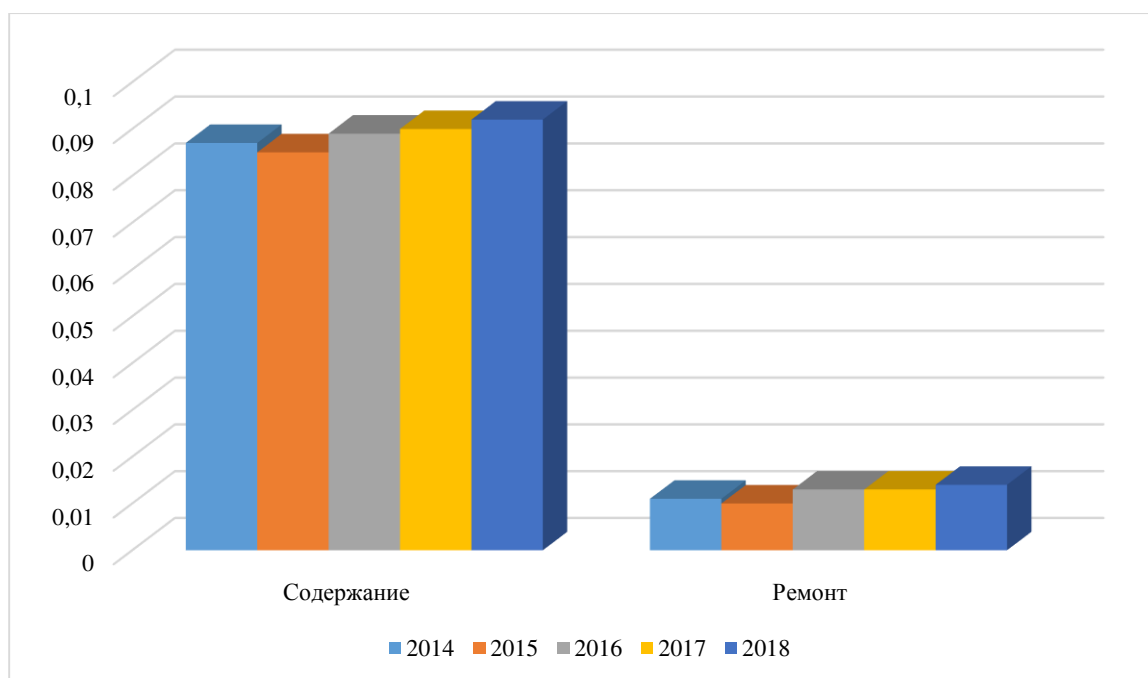


Рисунок 3.1 – Выбросы парниковых газов (млн т CO₂-экв.) при содержании и ремонте автомобильных дорог г. Санкт-Петербурга (2014-2018 гг.)

Таким образом, выбросы CO₂ в период с 2014 по 2018 гг. (рисунок 3.1) в Санкт-Петербурге для передвижных источников по методу уровня 1 составили 47,181 млн. т. CO₂- экв., а для объектов дорожного хозяйства 522 тыс. тонн. CO₂-экв.

3.1.2.2 Методика уровня 2

Перечень исходных данных:

Для методики данного уровня необходимо знать численность транспортных средств с разделением по видам топлива (энергоустановок) и экологическим классам и средний годовой пробег отдельных ТС. Эта информация для пилотного региона принималась на основании сведений, содержащихся в форме №1-БДД «Сведения о состоянии безопасности дорожного движения» ГИБДД МВД, а также

аналитического агентства Автостат, данных МАДИ и других организаций.

Коэффициенты перевода натуральных показателей потребления ТЭР в единицы условного топлива, а также удельных выбросов ПГ принимались по аналогии с методикой уровня 1.

На рисунке 3.2 приведены данные ГИБДД по количеству автотранспортных средств, стоящих на учете в г. Санкт-Петербурге (2014-2018 гг.)

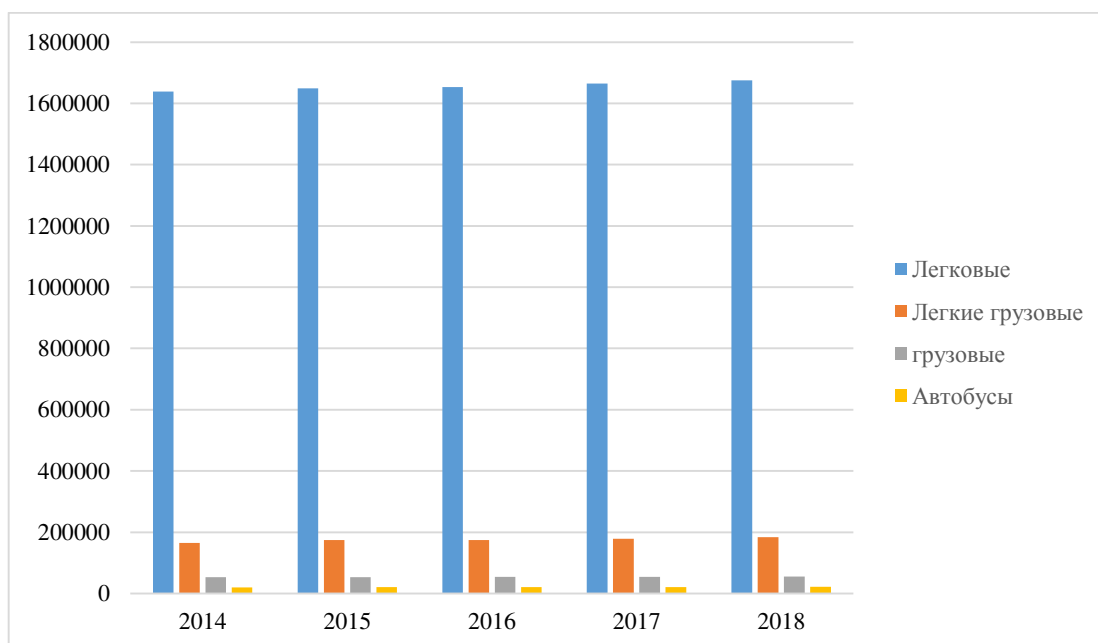


Рисунок 3.2 – Данные ГИБДД по количеству автотранспортных средств, стоящих на учете в г. Санкт-Петербурге (2014-2018 гг.)

Блок исходных данных, необходимых для использования этой методики, включает численность АТС региона по типам на рассматриваемый год (таблица 3.15), структура парка АТС по типу энергоустановок (таблица 3.15), удельный расход топлива (таблица 3.16), а также среднегодовые пробеги по типам АТС (таблица 3.17). Эти данные позволяют оценить массу сжигаемого топлива разного вида автомобильным парком региона (таблица 3.18).

Таблица 3.15 – Структура парка АТС по численности, виду топлива или типу энергоустановок (ЭУ), %

Тип АТС	СПб	Тип ЭУ	2014	2015	2016	2017	2018
			Численность, тыс. ед.				
Легковые		Бензиновые	90,311	90,785	91,569	92,511	92,959
		Дизельные	3,255	3,879	3,992	4,438	4,893
		Газомоторные	1,476	1,673	1,859	1,997	2,122

Продолжение таблицы 3.15

	Электропривод	0,000115	0,000167	0,000198	0,000226	0,000284
Легкие коммерческие	Бензиновые	59,311	59,872	60,689	61,233	61,166
	Дизельные	30,101	30,892	31,674	32,241	32,935
	Газомоторные	0,4523	0,48711	0,52306	0,54671	0,5899
	Гибриды	-	-	-	-	0,0
	Электропривод	-	-	-	-	0,0
Грузовые	Бензиновые	6,989	7,121	7,673	7,993	8,463
	Дизельные	84,2112	84,7796	85,2010	85,6742	85,4572
	Газомоторные	4,989	5,231	5,455	5,879	5,965
	Гибриды	-	-	-	-	0,0
Автобусы	Бензиновые	33,211	33,458	33,672	34,309	34,617
	Дизельные	56,211	56,476	56,877	57,525	57,511
	Газомоторные	7,11	7,24	7,45	7,62	7,81
	Гибриды	-	-	-	-	0,0

Средние значения потребления топлива в расчете на километр пробега разными типами ТС приведены в таблице 3.16 по данным ЕМЕР/ ЕЕА, а среднегодовые пробеги - в таблице 3.17.

Таблица 3.16 – Удельный расход топлива разными типами АТС (Данные ЕМЕР/ ЕЕА)

Тип АТС	Топливо	Удельный расход топлива, г/км
Легковые автомобили	Бензин	70
	Дизельное топливо	60
	Сжиженный нефтяной газ	70
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	Бензин	100
	Дизельное топливо	80
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	Дизельное топливо	240
	Компримированный природный газ (автобусы)	500

Таблица 3.17 – Средневзвешенные годовые пробеги по типам АТС, км/год (МАДИ) за период с 2014 по 2018 гг.

Тип АТС	Пробег, км				
	2014	2015	2016	2017	2018
Год					
Легковые	10500	11000	12200	12750	13200
Легкие коммерческие	21000	23000	25600	26200	27800
Грузовые	26000	28450	29500	30250	31200
Автобусы	32000	33600	34200	33980	34300

Таблица 3.18 – Объемы потребления разных видов топлива автомобильным транспортом в пилотном регионе, т/год (2014-2018гг.)

Категория транспорта	Топливо	Масса топлива				
		2015	2014	2016	2017	2018
Легковые автомобили	Бензин	1065324	1066749	1072126	1078562	1087817
	Дизельное топливо	47754	48102	48659	48983	49072
	Сжиженный нефтяной газ	1220	1268	1289	1380	1350
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	Бензин	198765	204563	207863	212142	213160
	Дизельное топливо	89646	89976	90327	90785	91823
	Сжиженный нефтяной газ	965	972	987	1021	1045
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	Бензин	28638	29341	29677	30248	30973
	Дизельное топливо	315664	315989	316774	316982	317498
	Сжатый природный газ	14322	14759	14889	15128	15595

При определении объемов выбросов ПГ используются расчетные коэффициенты перевода в энергетические единицы и коэффициенты выбросов диоксида углерода, разработанные для использования в Национальном докладе по кадастру выбросов парниковых газов с учетом вида и элементного состава топлив, применяемых в России.

Объемы выбросов ПГ передвижными и стационарными источниками автомобильного транспорта по методике уровня 2.

Валовые выбросы CO₂ передвижными источниками автомобильного и городского электрического транспорта по методике уровня 2 (при наличии данных о потреблении ТЭР по типам и экологическим классам ТС) определяются по формуле:

$$E_{CO_2} = \sum_{a,b,c} (AD_{a,b} \cdot EF_{a,b}) / 10^3, \text{ Гг/год}, \quad (3.3)$$

где E – выбросы CO₂, CH₄ или N₂O, т/год; a – вид топлива (дизтопливо, бензин, природный газ или сжиженный нефтяной газ); b – вид ТС; c –

экологический класс ТС; AD – энергосодержание потребленного топлива, ТДж/год; EF – коэффициент выбросов CO₂, CH₄ или N₂O, кг/ТДж.

В соответствии с методикой ЕМЕР/ ЕЕА (программа COPERT) при использовании приведенных выше данных произведена оценка валовых выбросов (CO₂, CH₄ и N₂O) автомобильным парком Санкт-Петербурга в период с 2014 по 2018 год.

Объемы потребления разных видов топлива (электроэнергии) автомобильным парком по методике уровня 2 определялись, исходя из структуры парка легковых, легких коммерческих, грузовых АТС и автобусов с разными типами энергоустановок в среднем по РФ, их удельных расходов топлива (г/км) и средневзвешенных годовых пробегов легковых, легких коммерческих, грузовых АТС и автобусов, которые на период с 2014 по 2018 гг. год установлены с учетом баланса топливопотребления и результатов расчетов по программе Copert.

В результате расчетов с использованием приведенных выше исходных данных установлено, что объем валовых выбросов парниковых газов передвижными источниками автомобильного транспорта в пилотном регионе за период с 2014 по 2018 гг. составил 53,65 млн. т. CO₂-экв. (таблица 3.19).

Таблица 3.19 – Валовые выбросы ПГ автомобильным транспортом г. Санкт-Петербурга по типам ТС, т/год (2014-2018 г.)

Виды ТЭР	Масса выброса CO ₂				
	2014	2015	2016	2017	2018
Год					
Легковые автомобили	876794	882962	885421	897629	907439
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	9598314	9674271	9725672	9823358	9924578
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	103985	104732	105891	104233	106342
ВСЕГО, млн. т CO ₂ -экв.	10,57	10,66	10,71	10,82	10,89

Методика расчёта выбросов для объектов дорожного хозяйства уровня 2, аналогична методике расчёта Уровня 1, но главным отличием является то, что для расчёта применяются региональные значения коэффициентов ПГ, базирующиеся на реальном содержании углерода в топливе, других энергоресурсах,

потребляемых в регионе в течение года, а также используются данные о протяженности федеральных, региональных, местных автомобильных дорог разных категорий, построенных, отремонтированных, находящихся в эксплуатации в течении года в регионе и удельных расходах энергоресурсов при строительстве, содержании, ремонте дорог.

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

$$E_i = \sum_a \sum_k \sum_j (L_{kj} \cdot m_{akj} \cdot EF_{aTCE} \cdot EF_{aNCV} \cdot EF_{ia}) / 10^3, \text{ т/год} \quad (3.4)$$

где E_i – эмиссия парникового газа i , т/год; L_{kj} – прирост протяженности автомобильных дорог k -ой технической категории, построенных, отремонтированных, находящихся в эксплуатации в рассматриваемый год, км; m_{akj} – удельные выбросы парникового газа i на j -ом этапе ЖЦ (строительство, содержание, ремонт) дорог k -ой 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 парникового газа i по виду энергоресурса a , т/ТДж.

В период с 2014 по 2018 год прирост автомобильных дорог в Санкт-Петербурге составил 285 км.

Таблица 3.20 – Значения удельных выбросов CO_2 на дорогах разных видов на этапе строительства (реконструкции) и ремонта (капитального ремонта) т CO_2 /км протяжённости.

Этап ЖЦ	Федеральные дороги	Региональные и межмуниципальные дороги	Местные дороги
Строительство, (реконструкция)	1070,0	739,0	51,7
Ремонт (капитальный ремонт)	271,7	133,8	10,0

На основании формулы 3.4. и таблицы 3.20 получаем, что выбросы CO₂ в период с 2014 по 2018 гг. связанные со строительством дорог составили 413 900 т CO₂-экв. Представленный выше расчёт выполнен с допущением, что значения удельных выбросов CO₂ являются региональными для г. Санкт-Петербурга.

Таким образом, в г. Санкт-Петербурге для передвижных источников выбросы CO₂-экв. в период с 2014 по 2018 гг. по методу уровня 2 составили 53,65 млн. т. CO₂-экв, а для объектов дорожного хозяйства – 413 900 тыс. тонн. CO₂-экв.

3.1.2.3 Методика уровня 3

Перечень исходных данных:

Для использования методики уровня 3 с целью расчета объемов выбросов ПГ от автомобильного транспорта к блоку исходных данных, включающих численность подвижного состава региона по типам АТС и среднегодовые пробеги по типам АТС, добавляются данные о распределении численности АТС по экологическим классам, а также учитываются природно-климатические факторы и условия эксплуатации (пробеги в разных дорожных условиях: по автомагистралям и скоростным автомобильным дорогам, по автомобильным дорогам с твердым покрытием средних категорий, по улично-дорожной сети городов, по грунтовым дорогам и т.д.). В таблице 3.21 приведена численность АТС разных экологических классов пилотного региона (2014-2018 гг.).

Таблица 3.21 – Численность АТС разных экологических классов г. Санкт-Петербурга и городского электротранспорта (данные Автостата, Комитета по транспорту г. Санкт-Петербурга)

Тип АТС	Экологический класс АТС	Количество ТС, ед.				
		2014	2015	2016	2017	2018
Легковые автомобили	0 (Евро 0)	268431	269764	270174	274691	276043
	1-3 (Евро 1-3)	842542	854521	867452	879904	881720
	4 (Евро 4 и выше)	420653	431676	446762	468993	480421

Продолжение таблицы 3.21.

Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	0 (Евро 0)	40678	40982	41195	41361	41590
	1-3 (Евро 1-3)	101562	102711	103274	103995	104867
	4 (Евро 4 и выше)	26771	27193	27789	28221	28634
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	0 (Евро 0)	12101	12225	12568	12983	13359
	1-3 (Евро 1-3)	34556	35211	35782	36013	36329
	4 (Евро 4 и выше)	12455	12671	12788	12973	13179
Троллейбус несочлененный		488	492	490	498	502
Троллейбус сочлененный		109	112	117	121	128
Трамвай несочленённый		468	470	470	472	474
Трамвай сочлененный		310	310	312	313	315

Следует отметить, что в автомобильном парке пилотного региона преобладают автомобили класса Евро 1-3 (рисунок 3.3).

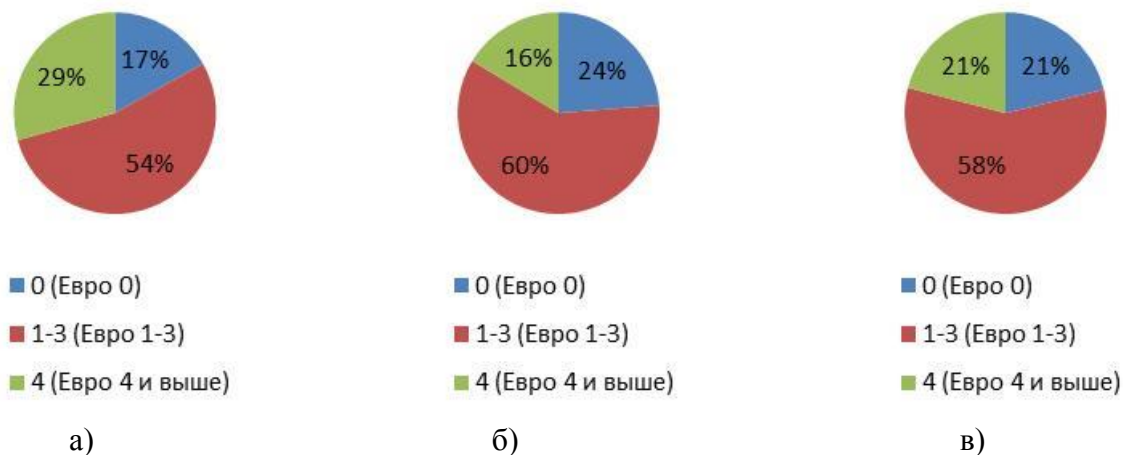


Рисунок 3.3 - Распределение легковых АТС (а) и грузовых АТС и автобусов полной массой до 3500 кг (б), грузовых АТС и автобусов полной массой более 3500 кг (в) по экологическому классу в г. Санкт-Петербурге

Для оценки валовых выбросов ПГ передвижными источниками автомобильного и городского наземного электрического транспорта пилотного региона за 2014 -2018 гг., кроме приведенных выше значений объемов потребления моторного топлива и электроэнергии разными типами ТС и численности ТС разных экологических классов.

Для оценки валовых выбросов ПГ передвижными источниками автомобильного транспорта по методу уровня 3 требуются данные о годовом пробеге разных типов ТС в г. Санкт-Петербурге, которые получены на основании обобщения данных, полученных из разных источников, и приведены в таблицах 3.22 и 3.23.

Таблица 3.22 – Распределение пробегов по типам дорог, %

Тип ТС	Городские улицы и дороги	
	II	I.МП
Легковые	35	35
Грузовые	20	20
Автобусы	30	30

Таблица 3.23 – Пробег по типам ТС в г. Санкт-Петербурге (2014-2018 гг.)

Тип АТС	Суммарный годовой пробег, км				
	2014	2015	2016	2017	2018
Легковые автомобили	15756783400	15967431000	1609556712	16234567000	16381830000
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	310056789	3265478900	328945000	3398765400	3501840000
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	1346789004	1350987690	1346712345	1367450000	1370260000
Троллейбус несочлененный	-	324678900	328890345	334667890	34362400
Троллейбус сочлененный	-	-	-	-	-
Трамвай несочлененный	-	265568900	268743265	278754300	28679000
Трамвай сочлененный	-	-	-	-	-

Расчет объемов выбросов ПГ передвижными и стационарными источниками автомобильного транспорта по методике уровня 3

Формула оценки выбросов CO₂, CH₄ и N₂O по методу уровня 3 от АТС имеет вид:

$$E = \frac{(\sum_{a,b,c,d}(AD_{a,b,c,d} \cdot EF_{a,b,c,d}) + \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d})}{10^6}, \text{ т/год} \quad (3.5)$$

где E – выбросы CO_2 , CH_4 или N_2O , Гт/год; a – вид топлива (дизтопливо, бензин, природный газ, сжиженный нефтяной газ); 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 ТЭР вида a имеющего экологический класс c , км; $EF_{a,b,c,d}$ – коэффициент выбросов CO_2 , CH_4 или N_2O для ТС класса b , работающего на ТЭР 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.

Оценка валовых выбросов CO_2 передвижными источниками автомобильного и городского электротранспорта с учетом годового пробега и экологического класса ТС рассматриваемого пилотного региона представлены в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Результаты оценки валовых выбросов CO_2 передвижными источниками автомобильного и городского электрического транспорта с учетом годового пробега и экологического класса ТС рассматриваемого пилотного региона в 2014-2018 гг., т/год (уровень 3)

Тип ТС	Объём выбросов ПГ				
	2014	2015	2016	2017	2018
Легковые автомобили	3 196 382	3 221 622	3 288 871	3 311 453	3 405 172
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	1 095 247	1 103 334	1 100 009	1 101 221	1 113 654
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	834 649	854 341	861 522	863 762	884 367
Всего автотранспорт	5 301 171	5 321 314	5 390 224	5 392 157	5 403 194
Троллейбус несочлененный	19 089	19 131	19 021	19 086	19 243
Троллейбус сочлененный	6 535	6 755	6 764	6 846	6 872
Трамвай несочлененный	20 168	20 207	20 233	20 591	20 658
Трамвай сочлененный	20 233	20 280	20 351	20 478	20 636
Всего электротранспорт	66 184	67 194	67 274	67 325	67 409
Суммарный выброс CO_2 перед. источ-ми	10,57	10,63	10,77	10,80	10,941

По расчетам объем валовых выбросов ПГ передвижными источниками автомобильного и городского наземного электрического транспорта г. Санкт-Петербурга за период с 2014 по 2018 гг. 53,711 млн. т CO₂-экв. Данное значение валовых выбросов ПГ передвижными источниками автотранспорта достаточно хорошо коррелируется с результатами расчетов по методике уровня 2 и уровня 1 исходя из продажи нефтепродуктов в регионе. Расхождения составляют около 1,5% (уровень 2), что показывает высокий уровень достоверности не только полученных результатов, но правильности выбора значений показателей, используемых в качестве исходных данных.

Метод Уровня 3 для объектов дорожного хозяйства (при наличии исходных данных) при оценке энергозатрат и выбросов ПГ применяется детальное моделирование и предполагает учет характеристик используемой при строительстве (реконструкции), ремонте (капитальном ремонте) и содержании автомобильных дорог разных технических категорий, усредненных рекомендуемых МГЭИК коэффициентах эмиссии ПГ (CO₂, N₂O, CH₄) от сжигания разных видов топлив, получения тепловой и электрической энергии, строительной и транспортной техники, используемых технологий и материалов в жизненном цикле дорог разных технических категорий, природно-климатических и других факторов. В настоящее время, получить всю необходимую статистику не представляется возможным.

3.1.2.4 Выводы по расчету объёмов выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства в пилотном регионе по методикам уровня 1, 2 и 3

Согласно оценкам, выполненным по методике уровня 1, выбросы CO₂ в период с 2014 по 2018 гг. в г. Санкт-Петербурге для передвижных источников по

методу уровня 1 составили 47,181 млн. т. CO₂- экв., а для объектов дорожного хозяйства 522 тыс. тонн. CO₂-экв. По методике уровня 2, выбросы CO₂ в период с 2014 по 2018 гг. в г. Санкт-Петербурге для передвижных источников по методу уровня 2 составили 53,65 млн. т. CO₂-экв, а для объектов дорожного хозяйства 413900 тыс. тонн. CO₂-экв. Для уровня 3 объем валовых выбросов ПГ передвижными источниками автомобильного и городского наземного электрического транспорта г. Санкт-Петербурга в период с 2014 по 2018 гг. составил 53,711 млн. т CO₂-экв. Сравнительная характеристика формируемых выбросов разными источниками представлена на рисунке 3.4.

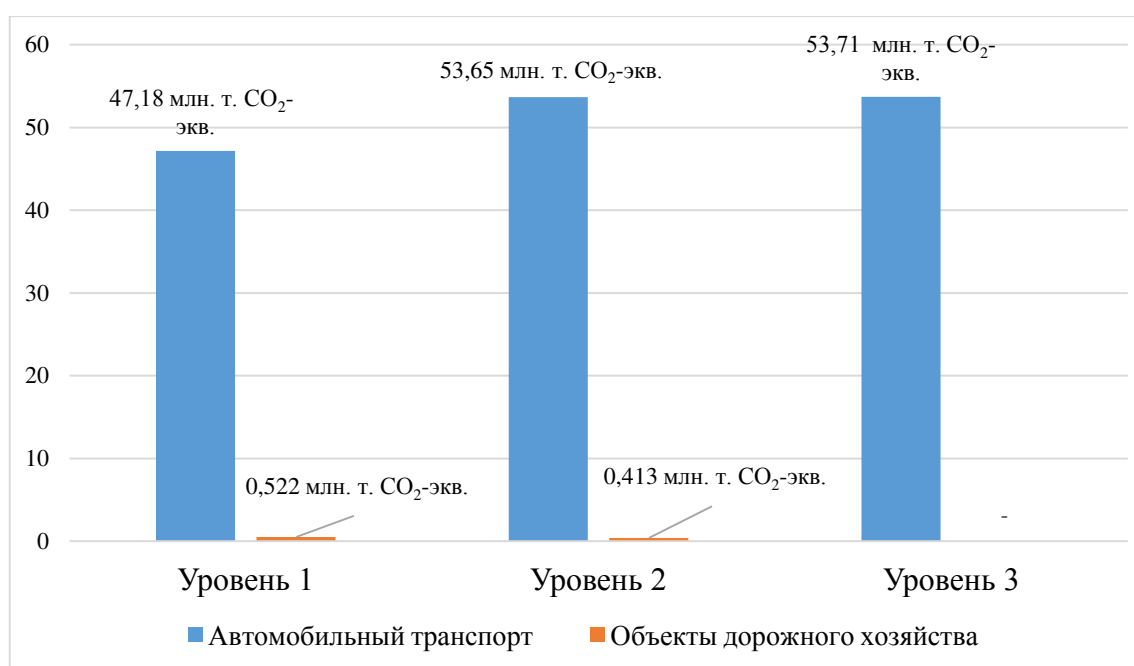


Рисунок 3.4 - Валовые выбросы парниковых газов от автомобильного транспорта и объектов дорожного г. Санкт-Петербург (2014-2018 гг.)

На основании полученной информации можно сделать вывод, что по автомобильному транспорту несмотря на неполноту исходных данных, содержащихся в отчетности государственной статистики, необходимых для оценки ПГ (годовых пробегов, расхода топлива, экологического класса всех автотранспортных средств в регионе как юридических, так и физических лиц), получилось провести оценку выбросов ПГ по методикам всех трех уровней, тогда как для объектов дорожного хозяйства только для двух. При этом, результаты расчётов указывают на низкое расхождение, что подтверждает тот факт, что

методики трёх уровней позволяют проводить оценку выбросов с высокой точностью, однако, применение данного подхода не подразумевает проведение верификации полученных результатов, в связи с чем, далее, с помощью методов машинного обучения была проведена верификация полученных значений выбросов. За основу было принято среднее арифметическое значение выбросов CO₂, а именно 51,514 млн. т. CO₂-экв.

3.2 Вычислительный эксперимент по верификации полученных результатов с помощью методов интеллектуального анализа данных

Верификация полученных результатов за период с 2014 по 2018 гг. проводилась с помощью методов машинного обучения, представленных в 2 главе. Как отмечалось ранее, валовые выбросы парниковых газов передвижными источниками автомобильного транспорта и объектами дорожного хозяйства пилотного региона (г. Санкт-Петербург) в период с 2014 по 2018 гг. составили, 51,514 млн. т. CO₂-экв, т.е. в нашем случае необходимо проверить массив данных на предмет наличия ошибки и определения тех данных которые могли привести к неверному расчёту. Для проведения верификации, использовались данные представленные в таблицах 3.1 – 3.24.

Далее, с помощью различных методов машинного обучения, а именно алгоритма С 4.5., случайного леса и метода множественной линейной регрессии, оценивается эффективность проведенного расчёта и достоверность представляемых данных, т.е. данные из указанной таблицы, в виде массива, загружаются в программное обеспечение WEKA, где далее, пользователем выбирается необходимый алгоритм оценки по которому программа проводит оценку массива данных и затем выдает визуализированный результат.

Верификация с помощью метода множественной линейной регрессии

При использовании данного метода исходные данные подвергаются 10-кратной перекрёстной проверке, при 11-ом запуске WEKA прекращает проверку и выстраивает гистограмму линейной регрессии. При этом эффективность проведенной верификации оценивается по таким параметрам как коэффициент корреляции, средняя абсолютная ошибка и среднеквадратичная ошибка. Результат проведенной верификации представлен на рисунке 3.5.

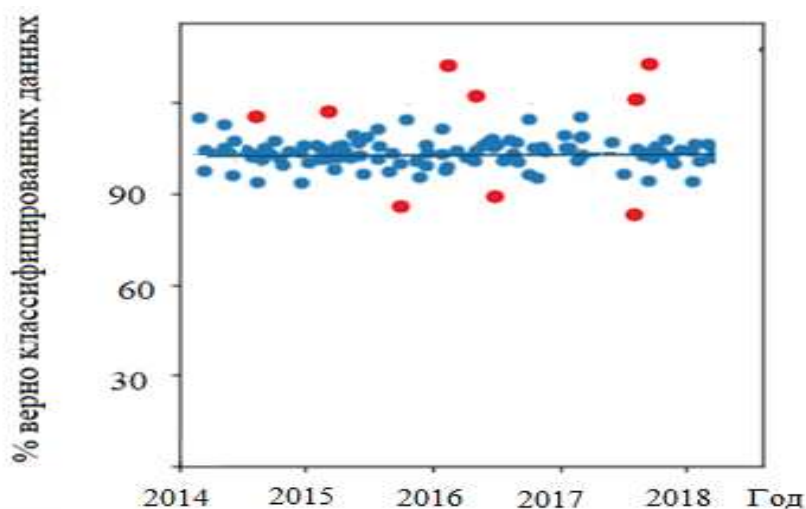


Рисунок 3.5 – Процент (%) верно классифицированных данных с применением метода множественной линейной регрессии

Указанный выше рисунок демонстрирует распределение значений относительно усреднённой линии тренда, как видно, истинные значения и прогнозируемые показывают высокую степень «скупенности», т.е. данный рисунок позволяет сделать вывод, что исходные данные используемые для расчёта показывают высокую степень достоверности. При этом WEKA оценила коэффициент корреляции в 0,9974, т.е. это позволяет сделать вывод о том, что связи между двумя случайными величинами алгоритм устанавливает на высоком уровне, также средняя абсолютная ошибка показала значение 0,735, а среднеквадратичная ошибка 1,288 (рисунок 3.6), при этом значение данной ошибки напрямую характеризует достоверность исходных данных и в конкретном случае показывает, что корректность исходных данных используемых при расчёте составляет 95 %.

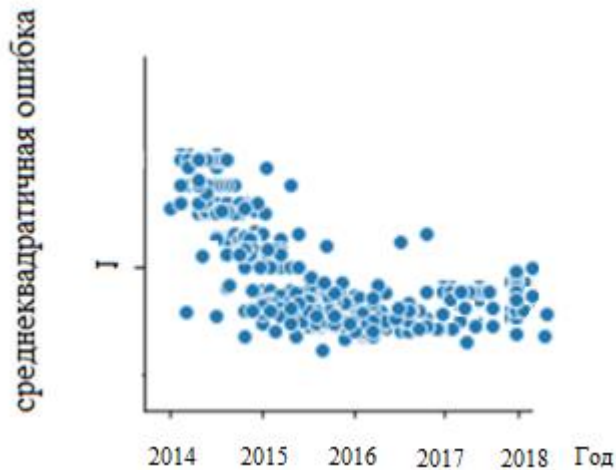


Рисунок 3.6 – Среднеквадратичная ошибка с применением метода множественной линейной регрессии

Алгоритм С 4.5.

Алгоритм С 4.5. деревьев решений позволит оценить не только абсолютную и среднеквадратичную ошибки, но также позволит проверить насколько правильно были классифицированы данные, т.е. в процессе построения дерева решений, алгоритм проведёт классификацию используемых данных и позволит выяснить, насколько верно происходит классификация, используемых данных и оценит степень их эффективности. Соответственно, при работе с данным алгоритмом в программу WEKA так же, в виде массива поквартально были загружены данные. Результат проведенной верификации по указанному методу представлен в таблице 3.25.

Таблица 3.25 – Результаты верификации с помощью алгоритма С.4.5.

Процент верно классифицированных данных	93,125 %
Процент неверно классифицированных данных	6,875 %
Абсолютная ошибка	0,535
Среднеквадратичная ошибка	1,012
Количество ветвей	6
Размер дерева	7

Более наглядно эффективность представлена на рисунке 3.7 и 3.8. Данный рисунок показывает, что на протяжении всего расчётного периода данные классифицируются на примерно одном уровне эффективности, при этом видны точки, которые отклоняются от общей линии тренда, но при этом они всё равно классифицированы верно, за исключением точек зелёного цвета, данный цвет указывает, что данные сильно отклоняются от общих значений и скорее всего классифицированы неверно.

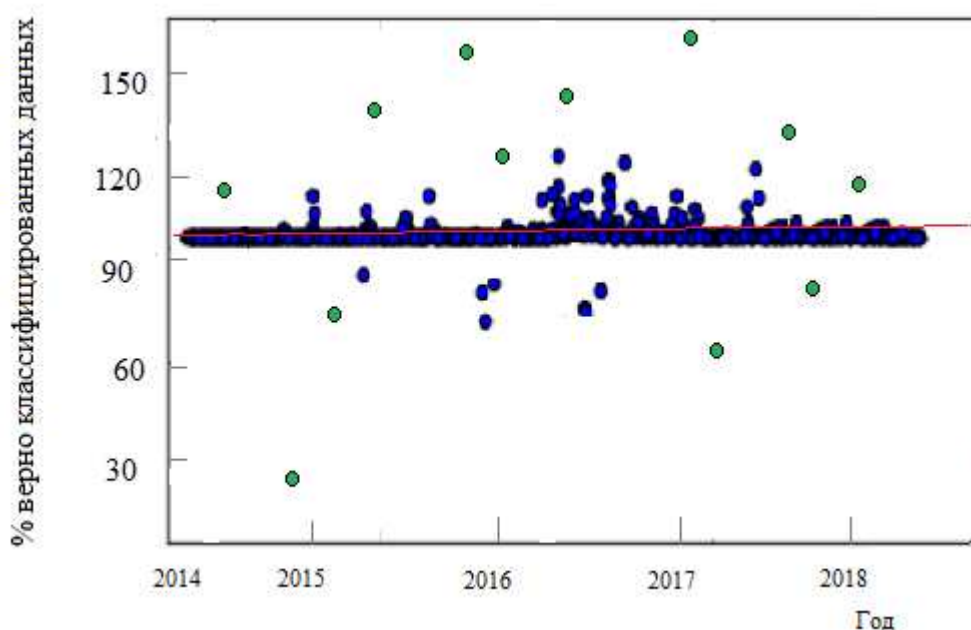


Рисунок 3.7 – Процент (%) верно классифицированных данных с применением алгоритма C 4.5.

Следует отметить, что алгоритм дерева решений C 4.5 в конкретном случае показал, что дерево решений достаточно быстро смогло классифицировать данные и выделить среди них 6 ветвей по которым осуществлялась классификация, на рисунке 3.8 представлен ход обучения в зависимости от размера дерева.

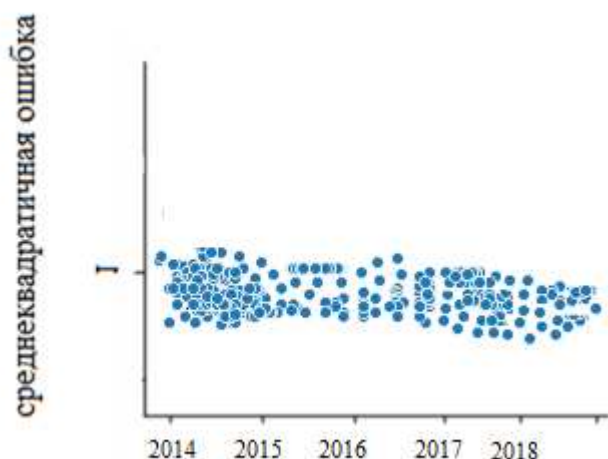


Рисунок 3.8 – Среднеквадратичная ошибка по алгоритму С 4.5.

Применение указанного метода позволяет сделать вывод, что использование алгоритма С 4.5. позволяет определить насколько точно проведена классификация объектов и выявить данные, которые выбиваются из общей статистики и влияют на итоговый результат формируемых объёмов выбросов.

Алгоритм случайного леса

Преимуществом указанного алгоритма является то, что, используя выборку из данных представленных в данной главе можно провести многократное обучение и построить большое множество деревьев с разными видами классифицируемых объектов, таким образом, алгоритм перебирая данные между собой учится выявлять зависимость и показывает с какой степенью эффективности произошла классификация. В таблице 3.26 и на рисунке 3.9 и 3.10 представлены данные получившиеся при использовании алгоритма случайного леса.

Таблица 3.26 – Результаты верификации с помощью алгоритма случайного леса

Процент верно классифицированных данных	94,436 %
Процент неверно классифицированных данных	5,564 %
Абсолютная ошибка	0,341
Среднеквадратичная ошибка	1,21

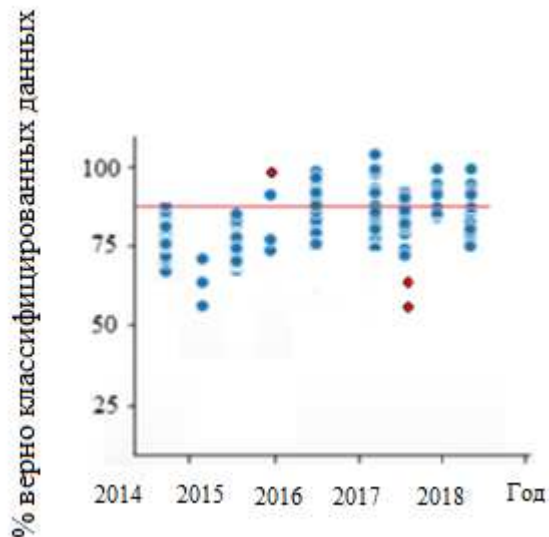


Рисунок 3.9 – Процент (%) верно классифицированных данных с применением алгоритма случайного леса.

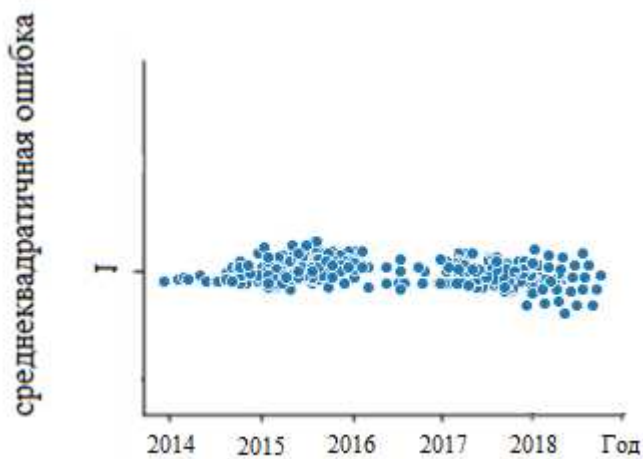


Рисунок 3.10 – Среднеквадратичная ошибка по алгоритму случайного леса.

Как видно, использование алгоритма случайного леса также показало высокую степень верно классифицированных данных, при этом среднеквадратичная ошибка также показала значение, которое позволяет сделать вывод, что данные используемые при расчёте объёмов выбросов ПГ обладают высокой степенью достоверности.

Вывод по главе

В рамках эксперимента были рассчитаны выбросы ПГ от передвижных источников и от объектов дорожного хозяйства по трём различным уровням. В итоге, валовые выбросы парниковых газов передвижными и стационарными источниками автомобильного транспорта пилотного региона (г.Санкт-Петербург) в период с 2014 по 2018 гг. составили 51,514 млн. т. CO₂-экв.

Далее, с помощью методов машинного обучения, а именно метода множественной линейной регрессии, алгоритма деревьев решений C4.5 и алгоритма случайного леса были проанализированы данные используемые для расчётов на предмет наличия ошибочных данных и проведена оценка степени верно классифицируемых данных. Результаты представлены на рисунке 3.11.



Рисунок 3.11 – Сравнительная диаграмма алгоритмов интеллектуального анализа данных, применяемых для расчёта выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта и объектов дорожного хозяйства

На основании проведенного анализа исходных данных используемых при расчёте можно сделать вывод, что все три используемых метода машинного обучения показали примерно одинаковый уровень верно классифицируемых объектов, т.е. точность данных используемых при расчётах составила в среднем 94,2 % такой высокий показатель характеризуется тем, что экспериментальный расчёт был проведён для небольшого количества данных, при этом самую высокую

степень обучаемости и соответственно оценки результатов показал метод множественной линейной регрессии (95 %) это можно объяснить тем, что данный метод использует 10-кратную проверку данных, по заранее классифицированным объектам, когда алгоритмы деревьев решений анализируют не только заранее классифицированные объекты, но и сами, путём перебора данных учатся классифицировать данные и устанавливать их истинность.

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 %, соответственно, верификация расчётных данных произведена успешно и данные имеют высокую степень достоверности.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ НАПРАВЛЕННЫХ НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА

4.1. Анализ сценариев развития транспортного комплекса до 2030г.

Глобальной целью низкоуглеродного устойчивого развития транспортной отрасли является снижение абсолютных и удельных объёмов (на единицу полезной работы) выбросов парниковых газов передвижными и стационарными объектами транспортного комплекса и дорожного хозяйства.

С целью снижения абсолютных и удельных выбросов парниковых газов (ПГ) на транспорте и в дорожном хозяйстве предусматривается реализация нормативных правовых, организационных, инженерно-технических и экономических мероприятий, которые можно сгруппировать по трем направлениям:

1. Повышение энергоэффективности ТС, работающих на традиционных видах топлива, и реализация и совершенствование современных транспортных технологий.
2. Увеличение количества ТС, эксплуатируемых на альтернативных видах топлива, с сниженным выбросом ПГ.
3. Развитие транспортной инфраструктуры и управление мобильностью для сокращения нерациональных пробегов, повышения коэффициентов использования вместимости и грузоподъемности, снижения нагрузки на окружающую среду.

В нашем случае, в блоке сценарного прогнозирования сформированы два сценария – инерционный (консервативный) и инновационный (целевой) изменения значений основных исходных показателей – объемов пассажирской и грузовой

транспортной работы и удельных (на единицу транспортной работы, пробега, протяженности дороги) выбросов ПГ, прироста протяженности автомобильных дорог общего пользования, изменения численности и структуры парка ТС по типу энергоустановок и виду используемого топлива [66].

При этом указываются мероприятия, при реализации которых эти значения могут быть достигнуты. Сценарии формируются на основе прогноза долгосрочного социально-экономического развития региона или государства и трендов технологического развития автомобильной промышленности, автомобильного транспорта и дорожного хозяйства.

В инерционном сценарии оценки показателей, например, для Российской Федерации реализуются только ранее принятые меры, приводящие к снижению выбросов ПГ, включая меры по повышению энергоэффективности, развитию атомной энергетики, нетрадиционных источников энергии. Инновационный сценарий подразумевает интенсивное развитие рынка ТС работающих на альтернативных видах топлив и повышении энергоэффективности всего транспортного сектора. В рамках сценария предусматривается изменение структуры используемых топливно-энергетических ресурсов, реализацию более ресурсозатратной для государства и бизнеса модели управления развитием транспорта при значительном повышении расходов на развитие транспортной инфраструктуры, реализацию высокотехнологичных проектов и развитие человеческого потенциала. В обоих сценариях предполагается выработка и ввод в действие механизмов государственного и рыночного регулирования, предусматривающих реализацию нормативных правовых, организационных, инженерно-технических и экономических мероприятий с разной интенсивностью ввода по времени и по охвату территории и делятся на три направления.

Сроки реализации мероприятий по инерционному сценарию сдвигаются по сравнению с инновационным на 5-7 лет и реализуются в меньших объемах.

Мероприятия первого порядка предусматривают: разработку и внедрение новых ТС работающих на альтернативных видах топлив и использующих энергоэффективные технологии.

Мероприятия второго порядка предусматривают: масштабное производство энергоэффективных топлив, соответствующих ТС, а также совершенствование систем способных аккумулировать электрический заряд с целью увеличения количества электромобилей;

Мероприятия третьего порядка предусматривают применение устойчивого подхода при создании и эксплуатации транспортных систем, повышая тем самым спрос на ТС работающие на альтернативных видах топлив, а также к формированию рациональных транспортных сетей.

По прогнозу численность автотранспортных средств в г. Санкт-Петербурге увеличится с 1,9 млн ед. в 2015 г. до 2,7 млн ед. в 2030 г. по консервативному сценарию (в 1,4 раза) и до 3,3 млн ед.– по инновационному сценарию (в 1,82 раза) [Приложение А].

Консервативный сценарий предусматривает прирост объема перевозок грузов с 159,4 млн тонн в 2015 г. до 398,4 млн тонн в 2030 г. (в 2,5 раза). В структуре грузоперевозок - доля автомобильного транспорта уменьшится до 27 % [Приложение Б].

Инновационный сценарий предусматривает прирост объема перевозок грузов с 161,4 млн тонн в 2015 г. до 484,2 млн тонн в 2030 г. (в 3 раза). В структуре грузоперевозок - доля автомобильного транспорта уменьшится до 28 % [Приложение Б].

Большие объемы грузовых перевозок в инновационном сценарии связаны:

- с более высокими темпами роста объемов производства в отраслях экономики г. Санкт-Петербурга;
- с активным строительством жилья и коммерческих объектов;
- с развитием межрегиональной торговли;
- с существенным увеличением объемов международных грузов, следующих по территории города и области;
- со строительством крупных транспортно-логистических комплексов, обеспечивающих обработку международных грузов.

По прогнозу в 2030 г. общий парк автотранспортных средств г. Санкт-Петербурга составит 3,5 млн ед. по консервативному сценарию и 4,3 млн ед. – по инновационному сценарию.

Консервативный сценарий развития транспортной системы г. Санкт-Петербурга предусматривает увеличение количества перевозок пассажиров с 1742,4 млн чел. в 2015 г. до 2752,0 млн чел. в 2030 г. (на 28,2 %).

В структуре пассажирских перевозок:

- доля рельсового внеуличного транспорта снизится с 41,2 % в 2015 г. до 36,4 % в 2030 г.;

- доля маршрутного транспорта возрастет с 42 % до 45,5 %;

- доля троллейбусов и трамваев снизится с 18,1 % до 15,7%.

Инновационный путь развития предполагает увеличение объема вложений в совершенствование общегородского транспорта, в результате чего:

- в г. Санкт-Петербурге рост уровня автомобилизации не будет сопровождаться увеличением доли поездок на легковом автотранспорте, а сохранится существующее соотношение между числом поездок, совершаемых на легковых автомобилях (32 % в 2030 г.) и на общегородском транспорте (68 % от общего объема в 2030 г.), за счет развития скоростных внеуличных видов транспорта, внутригородских железнодорожных сообщений, создания условий для приоритетного проезда наземного транспорта общего пользования по улично-дорожной сети, строительства транспортно-пересадочных узлов, введения ограниченного въезда легковых автомобилей в центральную часть города и расширения зоны платной парковки;

Инновационный сценарий развития транспортной системы г. Санкт-Петербурга прогнозирует увеличение количества перевозок пассажиров с 1979,6 млн чел. в 2015 г. до 2641,2 млн чел. в 2030 г. (на 34,6 %).

В структуре пассажирских перевозок:

- доля рельсового внеуличного транспорта снизится с 37,2 % в 2015 г. до 34,9 % в 2030 г.;

- доля маршрутного транспорта возрастет с 41 % до 43,4 %;

- доля троллейбусов и трамваев снизится с 17,1% до 15,2%;

За период 2015-2030 гг. прогнозируется, что основное увеличение перевозок пассажиров будет наблюдаться на рельсовом внеуличном транспорте и на маршрутном.

Исходя из информации представленной выше для г. Санкт-Петербурга были спрогнозированы показатели транспортной работы для консервативного и инновационного сценариев, что представлено в таблицах 4.1 и 4.6.

Для того, чтобы справиться с ожидаемым увеличением спроса на пассажирские и грузовые перевозки, необходимо обеспечить развитие транспортного сектора не только с точки зрения ТС и объектов дорожного хозяйства, но и с точки зрения всех видов транспорта, с одновременным внедрением систем интеллектуального управления, которые смогут повысить эффективность транспортного комплекса и уменьшить его антропогенную нагрузку на население и окружающую среду, основные мероприятия которые можно рассматривать применительно к транспортной системе г. Санкт-Петербурга представлены на рисунке 4.1.

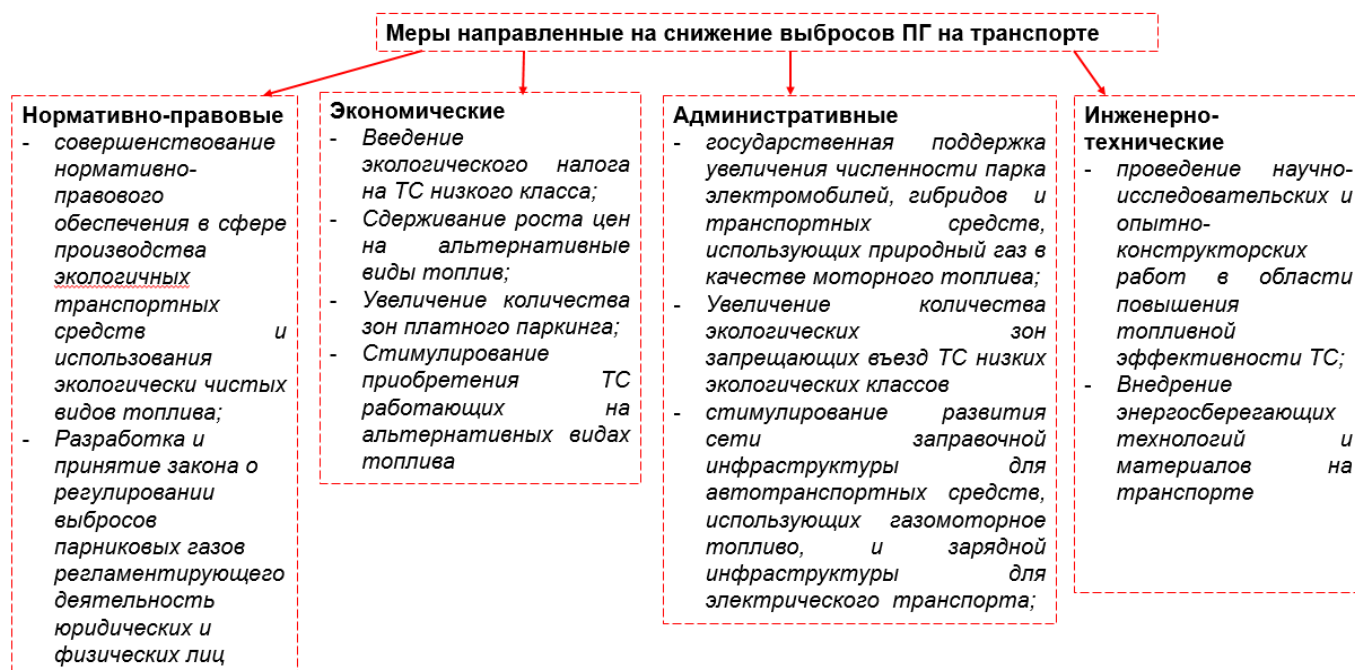


Рисунок 4.1 – Мероприятия, направленные на сокращение объемов выбросов ПГ в транспортном комплексе

4.2 Оценка динамики выбросов парниковых газов для г. Санкт-Петербурга за период 1990-2017 г.

4.2.1 Подготовка данных

Как указывалось, ранее, для успешной оценки выбросов ПГ от объектов дорожного хозяйства и различных ТС, необходим набор исходных данных которые относятся к обязательным и дополнительным показателям, с целью определения эффективности внедрения мер направленных на снижение выбросов ПГ.

Исходя из данных официальной статистики и открытых источников для обязательных показателей (таблица 4.1), был сформирован набор данных которые необходимы для проведения расчётов [115].

Представленный выше анализ, проведён для периода с 1990 по 2017 гг. по причине того, что ретроспективные данные за 2019 – 2017 г. позволяют установить зависимость того, как данные претерпевают изменения в зависимости от временной шкалы и благодаря установлению таких зависимостей обучить искусственный интеллект находить неточности в исходных данных и в случаях значимого отклонения от прогнозных значений [8, 9].

Таблица 4.1 – Обязательные показатели необходимые для расчёта выбросов ПГ на транспорте и от объектов дорожного хозяйства для г. Санкт-Петербурга на период с 1990-2017 г.

Год	Объем транспортной работы при выполнении грузовых перевозок, т-км	Объем транспортной работы при выполнении пассажирских перевозок, пасс.-км/год	Объём потребления бензина т/г.	Объём потребления дизельного топлива т/г.	Объём потребления сжиженного нефтяного газа тыс.м ³ /г.	Объём потребления природного газа тыс.м ³ /г.	Объём потребления электроэнергии тыс. Квт/час./год	Пробег, тыс. Км/год	Условия эксплуатации (городские или сельские дороги) % соотношение ТС в городе к ТС в регионе
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1990	82 454,62	32 769,081	3 708 710	2 307 700	17 164	42 352	1 178 254	78920138751	77/23
1991	79 421,65	28 542,21	3 211 321	2 211 342	16 101	39 812	1 043 201	71417268751	78/22
1992	69 564,22	25 135,43	2 765 213	1 512 764	15 203	35 432	943 211	6871220887	72/28
1993	62 221,43	23 563,79	2 241 451	1 211 301	14 432	32 561	865 836	67053424329	78/22
1994	57 225,89	21 412, 65	1 901 465	1 098 412	13 121	27 613	789 021	65053414329	77/23
1995	51 576,43	19 756,12	1 562 312	987 542	12 001	22 541	689 013	63053574317	78/22
1996	48 231,32	18 658,13	1 121 320	911 540	10 112	18 763	557 904	61053486321	72/28
1997	45 412,41	17 564,67	1 086 119	886 432	8 765	16 243	489 304	60052594334	78/22
1998	42 645,43	16 783,12	1 012 211	876 521	6 542	14 675	412 432	60056424312	77/23
1999	41 227,31	16 384,54	1 056 386	889 521	6 781	14 772	412 681	61053474329	78/22
2000	42 982,43	16 563,76	1 108 562	901 254	6 793	14 780	421 542	61712208872	72/28
2001	43 211,52	16 786,12	1 178 921	923 811	6 799	14 792	434 112	61417268751	78/22
2002	43 786,32	16 911,32	1 211 476	957 812	6 812	14 879	441 762	62920138751	78/22
2003	44 121,54	17 121,53	1 256 342	986 990	6 856	15 101	449 898	62318054361	78/22
2004	44 687,43	17 235, 34	1 298 102	996 412	6 891	15 423	454 312	62496371341	75/25
2005	45 132,76	17 365,18	1 314 564	1 008 211	6 945	15 712	462 432	62282062231	78/22
2006	45 675,21	17 365,19	1 349 412	1 021 316	6 989	15 942	476 312	62148914150	78/22
2007	45 984,78	17 678,21	1 387 212	1 045 762	7 111	16 311	485 786	63029975140	78/22

Продолжение таблицы 4.1

2008	46 342,78	17 872,12	1 411 412	1 067 871	7 215	16 747	497 801	63973696120	75/25
2009	46 654,31	17 932,19	1 478 467	1 078 922	7 376	16 986	505 112	63843396220	78/22
2010	46 942,54	18 101,02	1 512 567	1 094 911	7 478	17 284	512 654	63233276220	78/22
2011	47 121,12	18 211,34	1 600 432	1 112 342	7 567	17 893	521 312	64213320000	78/22
2012	47 211,43	18 465,13	1 698 453	1 126 711	7 612	18 436	526 785	64552594334	75/25
2013	47 876,31	18 899, 54	1 756 211	1 146 899	7 789	18 869	535 124	64056424312	78/22
2014	48 021,65	19 013, 32	1 798 321	1 153 850	7 892	19 101	541 675	64053474329	78/22
2015	48 502,72	19 275,93	1 854 355	1 179 500	8 087	19 575	555 361	65864611000	78/22
2016	51 704, 09	20008,43	1 932 654	1 256 897	8 365	19 985	567 834	66974612143	75/25
2017	52 302,01	21345,21	2 211 432	1 312 167	8 789	20 203	596 542	67768219431	78/22

4.2.2 Численная оценка выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства для г. Санкт-Петербурга на период с 1990 по 2017 г.

Для проведения расчетов выбросов ПГ от ТС в г. Санкт-Петербурге использовались формулы, представленные в разделе 2.1 главы 2 (таблица 2.1), а также данные представленные в таблице 4.1 для основных показателей, результаты проведенной оценки представлены на рисунке 4.2.

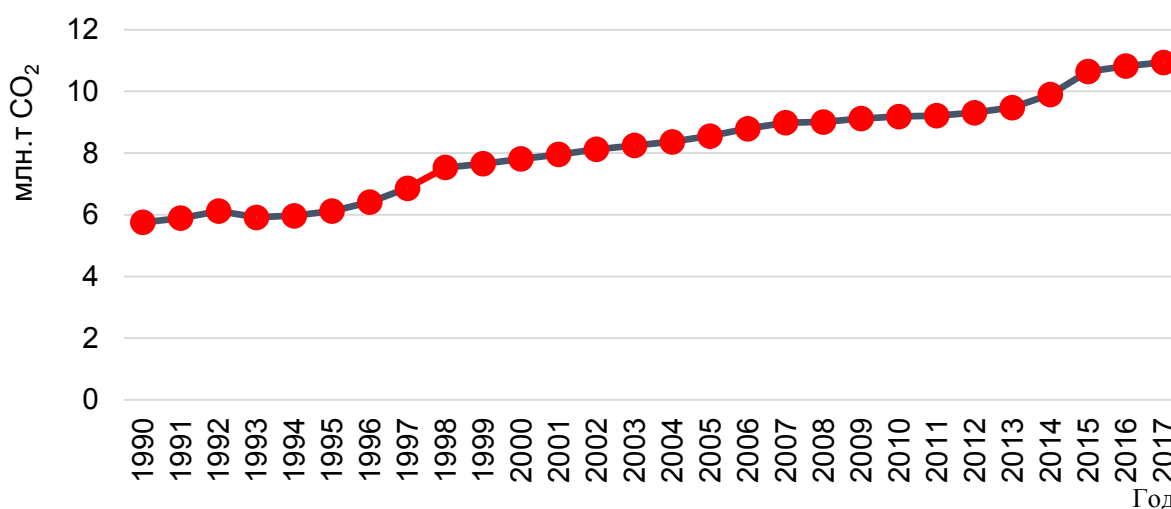


Рисунок 4.2 – Оценка выбросов ПГ от транспортных средств и объектов дорожного хозяйства г. Санкт-Петербурга на период с 1990 по 2017 г.

Представленный выше анализ объёмов выбросов показывает, что до 1998 г. наблюдался невысокий рост выбросов ПГ, это связано с ухудшением экономической ситуации в стране, что так же негативно сказалось на развитии транспортного комплекса. После 1998 г. наблюдается постоянное увеличение выбросов ПГ, связано это, прежде всего, с ростом экономики и как следствие ростом объёмов транспортной работы и увеличением пробега ТС.

Следующим шагом является верификация полученных значений с применением методов машинного обучения, как и в главе 2 верификация используемых данных проводится с помощью методов линейной регрессии, метода

С 4.5. и случайного леса. Основными параметрами, которые подлежат оценке, являются среднеквадратичная ошибка, абсолютная ошибка и процент верно классифицированных данных.

4.2.3 Проведение верификации используемых показателей транспортной работы

4.2.3.1 Верификация с применением метода множественной линейной регрессии

Первым этапом верификации являлась оценка достоверности данных представленных в таблице 4.2 с помощью алгоритма множественной линейной регрессии. Результаты проведенной оценки представлены в таблице 4.2 и на рисунках 4.3 и 4.4.

Таблица 4.2 – Результаты верификации с применением алгоритма множественной линейной регрессии

Процент верно классифицированных данных	97,312 %
Процент неверно классифицированных данных	2,688 %
Абсолютная ошибка	0,142
Среднеквадратичная ошибка	1,57

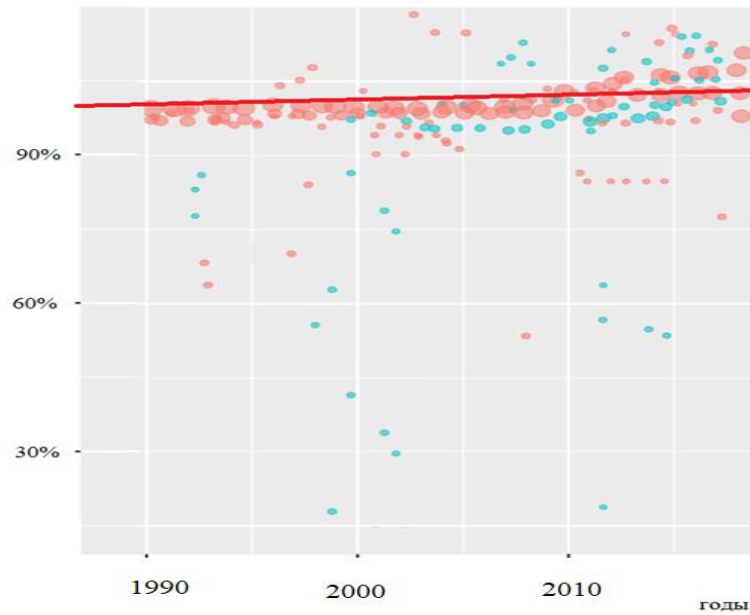


Рисунок 4.3 – Процент (%) верно классифицированных данных с применением алгоритма множественной линейной регрессии

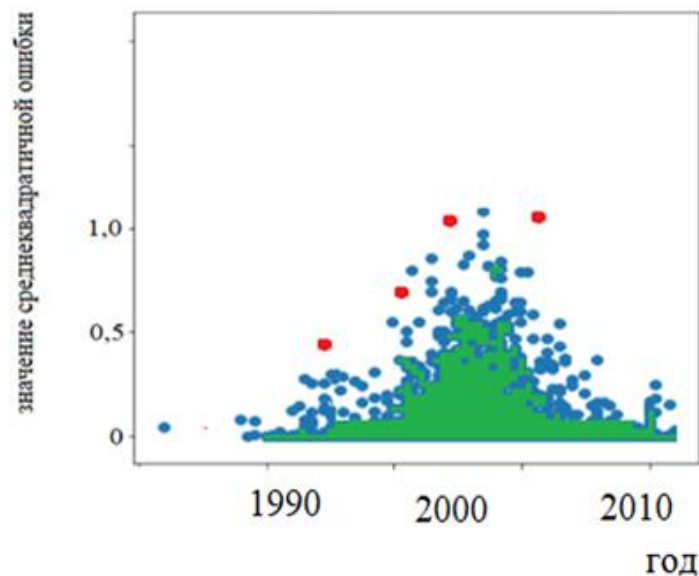


Рисунок 4.4 – Значение среднеквадратичной ошибки с применением алгоритма множественной линейной регрессии

Проведенный анализ показателей представленных в таблице 4.2 с использованием метода множественной линейной регрессии показал, что наблюдается высокая степень верно классифицированных данных, с низким

показателем среднеквадратичной ошибки, как видно из рисунка 4.3 среднее значение верно классифицированных данных составляет 97 % т.е. всего 3 % данных классифицированы не верно, что указывает на низкую степень неопределенности.

4.2.3.2 Верификация с применением метода С 4.5.

Как и для множественной линейной регрессии верификация с помощью метода С 4.5. проводилась на предмет верно классифицированных данных и оценку среднеквадратичной ошибки. Результаты такой оценки представлены в таблице 4.3. и на рисунке 4.5.

Таблица 4.3 – Результаты верификации с применением метода алгоритма С 4.5.

Процент верно классифицированных данных	95,112 %
Процент неверно классифицированных данных	4,888 %
Абсолютная ошибка	0,187
Среднеквадратичная ошибка	1,78

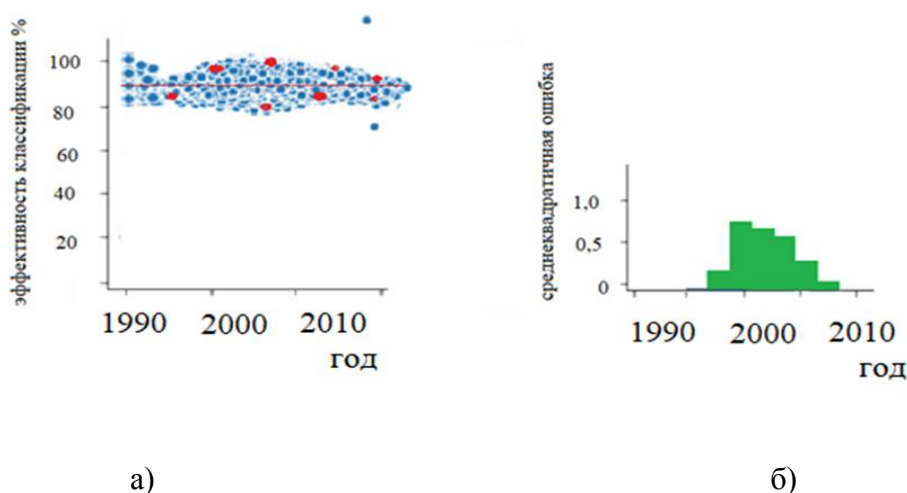


Рисунок 4.5 – а) процент верно классифицированных данных с применением алгоритма С 4.5.; б) значение среднеквадратичной ошибки с применением алгоритма С 4.5.

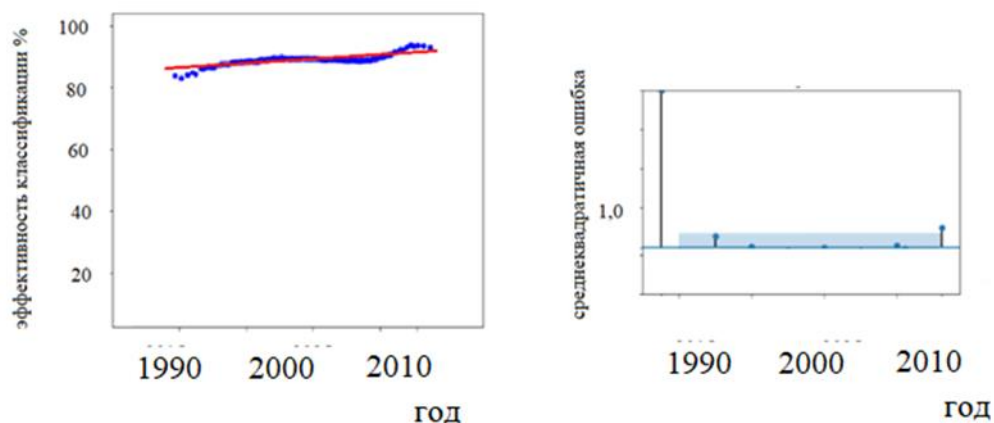
Анализ данных представленных в таблице 4.3 с использованием метода С 4.5. показал, что наблюдается высокая степень верно классифицированных данных, с низким показателем среднеквадратичной ошибки, как видно из рисунка 4.5 среднее значение верно классифицированных данных составляет 95 %, т.е. порядка 5 % данных классифицированы не верно, что также указывает на низкую степень неопределенности. Более низкий процент верно классифицированных ответов при использовании алгоритма С 4.5. обусловлен тем, что алгоритм множественной линейной регрессии следует строгому алгоритму при проведении классификации, т.е. все данные анализируются с на предмет истинности или ложности в пределах доверительного интервала, когда алгоритмы использующие в своей основе деревья решений путём перебора различных данных учатся устанавливать свои связи даже с неклассифицируемыми объектами тем самым алгоритм усложняется и становится объёмнее, поэтому и процент верно классифицируемых данных понижается.

4.2.3.3 Верификация с применением метода случайный лес (random forest)

Для алгоритма случайного леса также оценивалась эффективность классификации и среднеквадратичная ошибка. Результаты такой оценки представлены в таблице 4.4. и на рисунке 4.6.

Таблица 4.4 – Результаты верификации с применением алгоритма случайного леса

Процент верно классифицированных данных	94,875 %
Процент неверно классифицированных данных	5,125 %
Абсолютная ошибка	0,187
Среднеквадратичная ошибка	1,89



а)

б)

Рисунок 4.6 – а) процент верно классифицированных данных с применением алгоритма случайного леса; б) значение среднеквадратичной ошибки с применением алгоритма случайного леса

Анализ данных представленных в таблице 4.4 с применением алгоритма случайного леса показал, что наблюдается высокая степень верно классифицированных данных, с низким показателем среднеквадратичной ошибки, как видно из рисунка 4.6 среднее значение верно классифицированных данных составляет 95 %, т.е. порядка 5 % данных классифицированы не верно, что также указывает на низкую степень неопределенности. Занижение процента эффективности по сравнению с методом множественной линейной регрессии связано с тем, что метод случайного леса также, как и метод С 4.5. относится к логическим методам решений.

4.3 Оценка выбросов парниковых газов от передвижных источников и объектов дорожного хозяйства по прогнозным данным развития транспортной системы г. Санкт-Петербурга на период с 2017 по 2030 гг.

4.3.1 Подготовка данных

При формировании прогнозных исходных данных необходимых для проведения оценки выбросов ПГ на период с 2017 по 2030 г. учитывалась динамика изменения показателей за период с 1990 по 2017 г. Данные полученные на основании анализа данной динамики представлены в таблице 4.5. Также, для оценки мероприятий направленных на снижение выбросов ПГ были сформированы данные для дополнительных показателей, по которым проводилась оценка выбросов ПГ, которые представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.5 – Обязательные показатели необходимые для расчёта выбросов ПГ на транспорте и от объектов дорожного хозяйства для г. Санкт-Петербурга

Год	Объем транспортной работы при выполнении грузовых перевозок, т-км	Объем транспортной работы при выполнении пассажирских перевозок, пасс.-км/год	Объем потребления бензинового топлива т/г	Объем потребления дизельного топлива т/г	Объем потребления сжиженного нефтяного газа тыс. м ³ /г.	Объем потребления природного газа тыс. м ³ /г.	Объем потребления электроэнергии тыс. кв./г.	Пробег, км/г.	Условия эксплуатации (городские или сельские дороги) % соотношение ТС в городе к ТС в регионе
2017	52 302,01	21 345,21	2 211 432	1 312 167	8 789	20 203	596 542	67768219431	78/22
2018	54 213,42	21 679,57	2 312 318	1 367 433	8 798	20 657	612 632	68496371341	78/22
2019	54 643,67	22 368,11	2 389 487	1 398 412	8 811	20 887	624 431	68682062231	78/22
2020	54 981,12	22 799,69	2 414 563	1 423 581	8 819	21 012	646 687	6871220887	79/21
2021	55 021,46	23 211, 45	2 456 674	1 463 764	8 828	21 366	658 542	68953424329	79/21
2021	55 254,13	23 558,93	2 551 345	1 486 734	8 836	21 782	663 611	69253414329	79/21
2022	55 876,65	23 897,12	2 593 421	1 525 327	8 848	21 978	671 875	69453574317	80/20
2023	56 121,23	24 312,45	2 621,86	1 583 117	8 862	22 142	686 211	69353486321	80/20
2024	56 435,56	24 698,15	2 698,35	1 645 673	8 873	22 458	699 452	69552594334	81/19
2025	56 761,68	24 959,77	2 711,57	1 687 621	8 884	22 869	714 534	69656424312	81/19
2026	56 947,12	25 327,83	2 789,65	1 743 211	8 896	23 925	728 621	69753474329	82/18
2027	57 167,11	25 711,47	2 865,13	1 786 653	8 911	23 967	745 632	69912208872	82/18
2028	57 654,24	26 431,12	2 911,46	1 856 753	8 923	23 989	774 511	70417268751	83/17
2029	57 911,26	26 895,57	3 121,47	1 974 511	8 934	24 213	793 121	70920138751	83/17
2030	58 421,11	27 356,68	3 476,98	2 121 453	8 946	24 677	809 562	71417268751	83/17

Таблица 4.6 – Дополнительные показатели необходимые для оценки эффективности принимаемых мер

Год	Цена за литр бензина Руб./л	Цена за литр дизельного топлива Руб./л	Цена за кубометр сжиженного нефтяного газа Руб./м ³	Цена за кубометр природного газа Руб./м ³	Цена за Квт/ч электроэнергии Руб./квт./ч.	Среднегодовая скорость передвижения км/ч	Количество ТС работающих на природном газе	Количество электромобилей	Наличие платного паркинга и его стоимость Руб./ч.	Наличие экологических зон
2017	45	43,5	15,5	8,21	3,28	68	8534	675	40	1
2018	45,3	43,8	15,5	8,19	3,28	71	9342	768	60	2
2019	45,87	44	15,6	8,17	3,28	74	10298	886	60	2
2020	46	44,3	15,5	8,17	3,28	68	11605	976	80	4
2021	46,3	44,5	15,6	8,11	3,28	72	12432	1010	80	4
2022	46,6	44,8	15,6	8,03	3,31	68	13564	1125	90	5
2023	47	45	15,5	7,97	3,31	71	14762	1201	100	6
2024	47,4	45,3	15,6	7,96	3,41	74	15874	1287	110	7
2025	48	45,6	15,6	7,95	3,41	68	16632	1376	2	9
2026	48,5	46	15,5	7,95	3,42	73	17843	1487	150	12
2027	49	46,5	15,6	7,95	3,42	71	19432	1563	180	14
2028	50	47	15,7	8,0	3,42	70	20123	1658	180	14
2029	50,5	47,5	15,6	8,0	3,43	71	21347	1744	180	15
2030	52	48	15,6	8,1	3,43	71	21986	1823	200	15

4.3.2 Проведение верификации показателей транспортной работы с оценкой мероприятий направленных на снижение выбросов парниковых газов для развития транспортной системы г. Санкт-Петербурга

Для проведения расчетов выбросов ПГ от транспортных средств в г. Санкт-Петербурге использовались формулы, представленные в разделе 2.1 главы 2 (таблица 2.1), а также данные представленные в таблице 4.5 для основных показателей, результаты проведенной оценки представлены на рисунке 4.7.

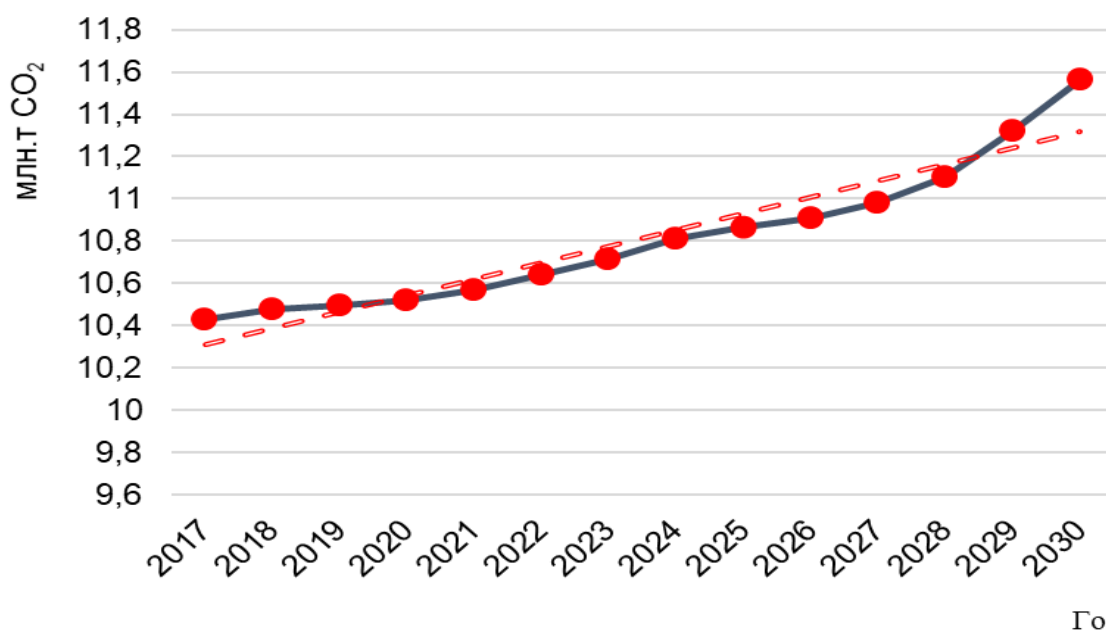


Рисунок 4.7 – Оценка выбросов ПГ от транспортных средств и объектов дорожного хозяйства г. Санкт-Петербурга для инновационного сценария на период до 2030 г.

Представленный выше анализ объёмов выбросов показывает, что при сохранении текущей тенденции, направленной на увеличение транспортной работы и потребления ТС традиционных видов топлив, будет наблюдаться устойчивое увеличение объёмов выбросов ПГ.

По этой причине были проанализированы мероприятия, направленные на снижение объём транспортной работы и перехода на альтернативные виды топлив. Следующим шагом является верификация полученных значений с применением методов машинного обучения, как и в главе 2 верификация используемых данных проводится с помощью методов линейной регрессии, метода С 4.5. и случайного леса. Основными параметрами, которые подлежат оценке являются среднеквадратичная ошибка, абсолютная ошибка и процент верно классифицированных данных.

Однако, верификацию полученных значений целесообразно проводить одновременно с оценкой эффективности принимаемых мер направленных на снижение выбросов ПГ. Как указывалось, ранее к основным мерам относятся меры направление на переход к использованию альтернативных видов топлив и ужесточению политики в области ограничения пробегов автомобилей, путём введения экологических зон, запрещающих въезд ТС с низким экологическим классом.

4.3.2.1 Верификация с применением метода множественной линейной регрессии

Первым этапом верификации являлась оценка достоверности данных, представленных в таблице 4.1 с помощью метода множественной линейной регрессии. Результаты проведенной оценки представлены в таблице 4.7 и на рисунках 4.8 и 4.9.

Таблица 4.7 – Результаты верификации с применением алгоритма множественной линейной регрессии

Процент верно классифицированных данных	93,431 %
Процент неверно классифицированных данных	6,569 %

Продолжение таблицы 4.7

Абсолютная ошибка	0,165
Среднеквадратичная ошибка	0,69

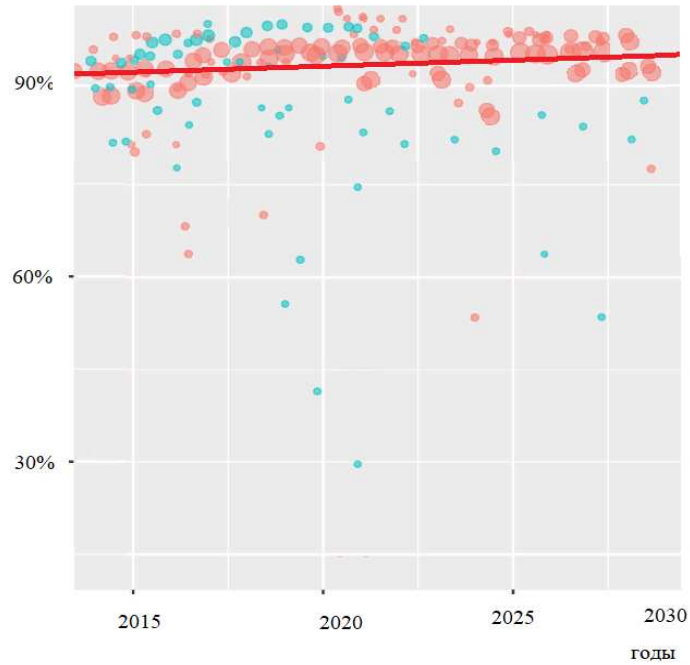


Рисунок 4.8 – Процент верно классифицированных показателей с применением алгоритма множественной линейной регрессии

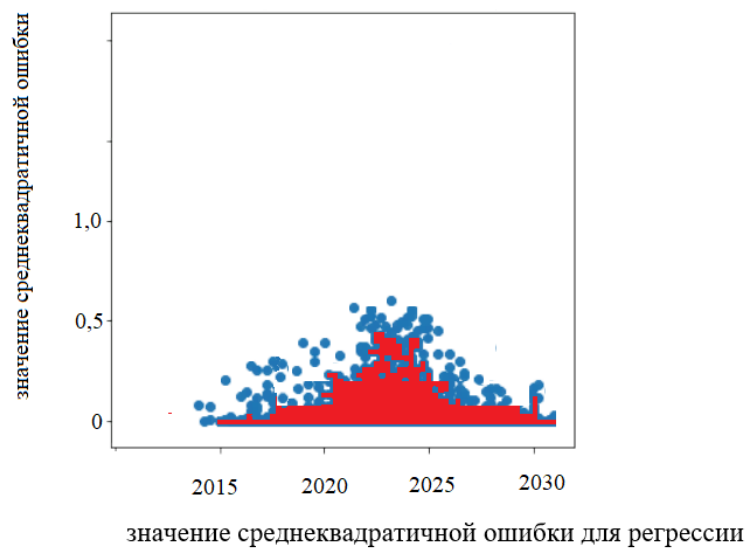


Рисунок 4.9 – Значение среднеквадратичной ошибки с применением алгоритма множественной линейной регрессии

Анализ показателей, представленных в таблице 4.7 с использованием метода множественной линейной регрессии показал, что наблюдается высокая степень верно классифицированных данных, с низким показателем среднеквадратичной ошибки, как видно из рисунка 4.8 среднее значение верно классифицированных данных составляет 93,5 % т.е. порядка 6,5 % данных классифицированы не верно, что указывает на низкую степень неопределенности.

4.3.2.2 Верификация с применением метода С 4.5.

Как и для множественной линейной регрессии верификация с помощью метода С 4.5. проводилась на предмет верно классифицированных данных и оценку среднеквадратичной ошибки. Результаты такой оценки представлены в таблице 4.8 и на рисунке 4.10.

Таблица 4.8 – Результаты верификации с применением алгоритма С 4.5.

Процент верно классифицированных данных	91,25 %
Процент неверно классифицированных данных	5,8 %
Абсолютная ошибка	0,153
Среднеквадратичная ошибка	0,51

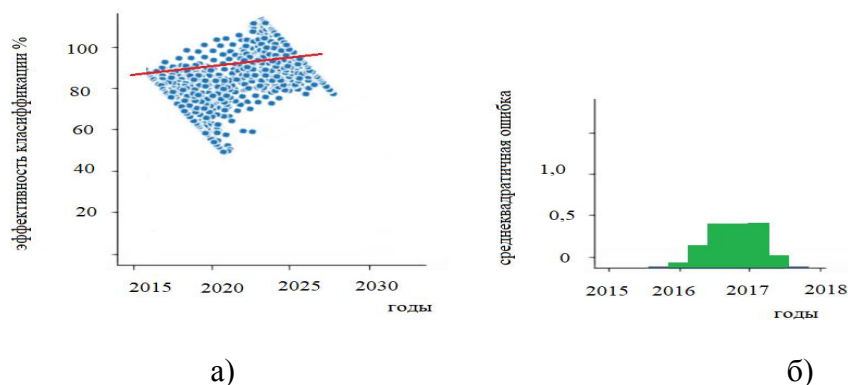


Рисунок 4.10 – а) процент верно классифицированных данных с применением алгоритма С 4.5.; б) значение среднеквадратичной ошибки с применением алгоритма С 4.5.

Анализ данных представленных в таблице 4.8 с использованием метода С 4.5. показал, что наблюдается высокая степень верно классифицированных данных, с низким показателем среднеквадратичной ошибки, как видно из рисунка 4.10 среднее значение верно классифицированных данных составляет 94,2 %, т.е. порядка 5,8 % данных классифицированы не верно, что также указывает на низкую степень неопределенности.

4.3.2.3 Верификация с применением метода случайный лес (random forest)

Для алгоритма случайного леса также оценивалась эффективность классификации и среднеквадратичная ошибка. Результаты такой оценки представлены в таблице 4.9 и на рисунке 4.11.

Таблица 4.9– Результаты верификации с применением алгоритма случайного леса

Процент верно классифицированных данных	92,103 %
Процент неверно классифицированных данных	4,897 %
Абсолютная ошибка	0,182
Среднеквадратичная ошибка	0,78

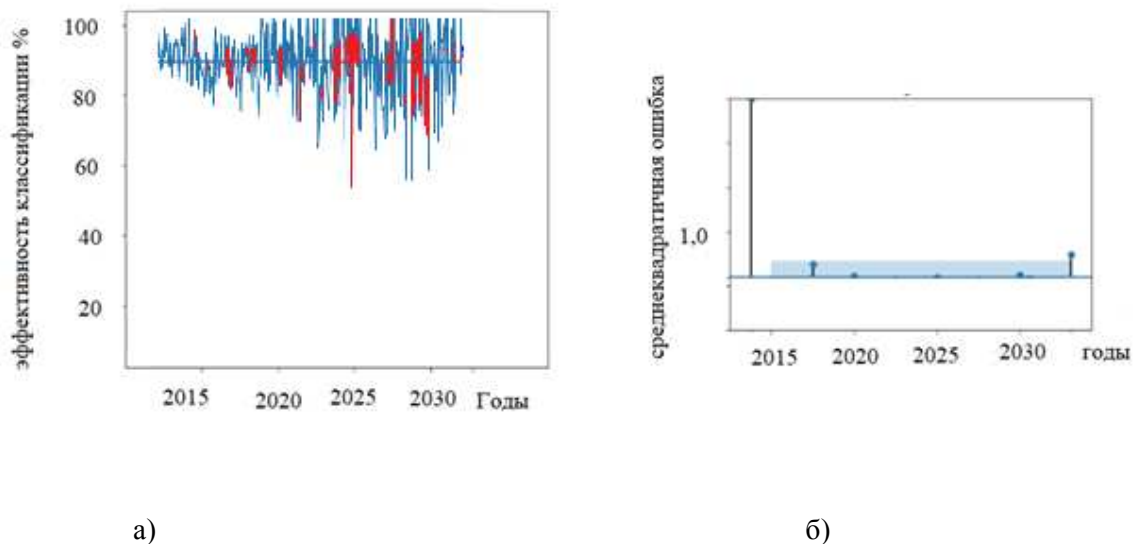


Рисунок 4.11 – а) процент верно классифицированных данных с применением алгоритма случайного леса; б) значение среднеквадратичной ошибки с применением алгоритма случайного леса

Анализ данных представленных в таблице 4.9 с применением алгоритма случайного леса показал, что наблюдается высокая степень верно классифицированных данных, с низким показателем среднеквадратичной ошибки, как видно из рисунка 4.11 среднее значение верно классифицированных данных составляет 95%, т.е. порядка 5% данных классифицированы не верно, что также указывает на низкую степень неопределенности.

4.3.2.4 Оценка эффективности мер направленных на снижение выбросов парниковых газов до 2030 г.

Для оценки эффективности мер направленных на снижение выбросов ПГ от транспортных средств и объектов дорожного хозяйства используется набор тех же алгоритмов, что и для проведения верификации, однако, в данном случае, программа, имея проверенную базу данных с установленными связями классификации, в нашем случае на основании данных представленных в таблице

4.5 анализирует дополнительные показатели (таблица 4.6) на предмет влияния на эффективность классификации и среднеквадратичную ошибку соответственно. Анализ воздействия дополнительных показателей представлен на рисунке 4.12 и 4.13.

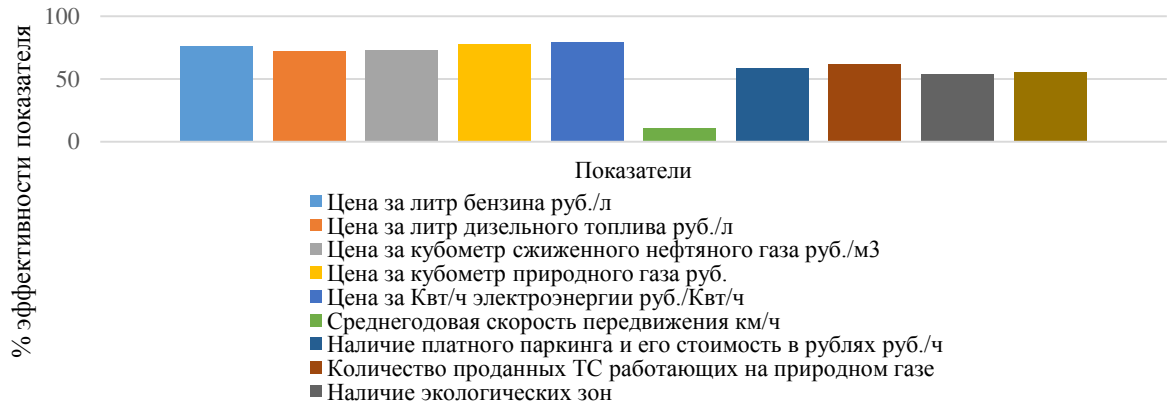


Рисунок 4.12 – Эффективность показателей при оценке мер направленных на снижение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта и объектов дорожного хозяйства

Соответственно, далее была оценена динамика выбросов ПГ с учётом влияния новых показателей на итоговый объём выбросов ПГ, результат данного анализа представлен на рисунке 4.13.

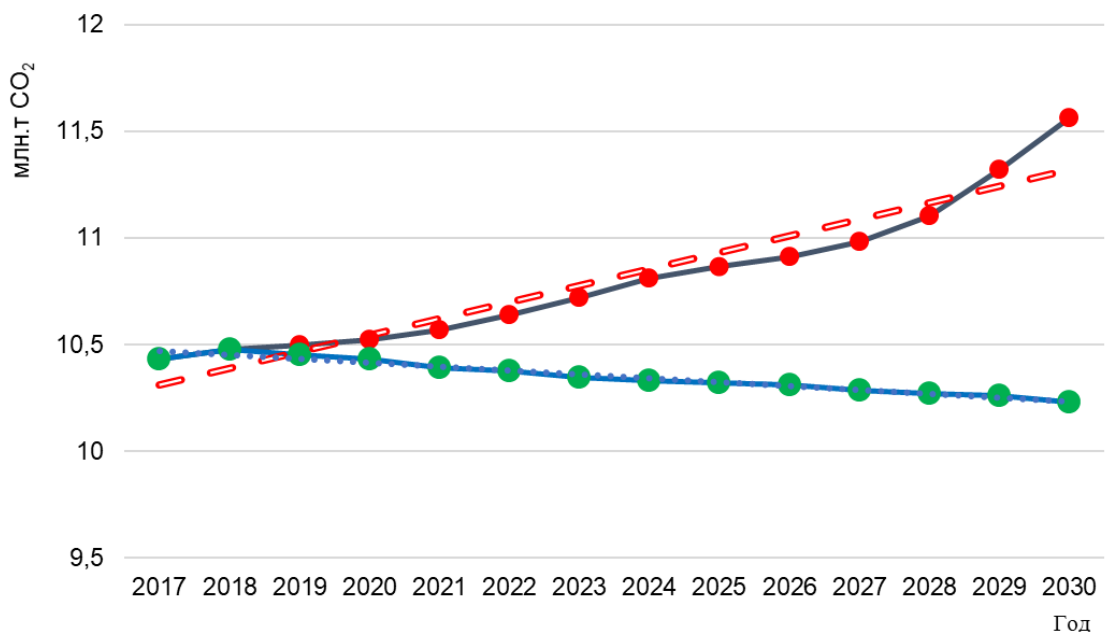


Рисунок 4.13 - Динамика выбросов ПГ при реализации мероприятий направленных на снижение выбросов ПГ

Таким образом, исходя из динамики формирования выбросов ПГ в г. Санкт-Петербурге можно прийти к выводу, что меры, направленные на снижение выбросов ПГ, могут привести к существенному снижению объёмов выбросов, за счёт активного перехода на альтернативные виды топлива и уменьшения пробегов ТС низких экологических классов.

Вывод по главе

Проведённая оценка выбросов ПГ показала, что методы верификации позволяют проводить не только достоверную оценку выбросов ПГ, но и определять, какие меры, направленные на снижение выбросов, являются наиболее эффективными. На основании информации представленной на рисунке 4.12 можно сделать вывод, что наиболее эффективными методами, направленными на снижение выбросов ПГ являются меры направленные на стимулирование использования альтернативных видов топлив и уменьшения пробегов ТС низких экологических классов за счёт введения экологических зон и платного паркинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Усовершенствована трёхуровневая методика оценки объёмов выбросов парниковых газов от объектов автомобильного транспорта с внедрением механизма расчетов, образующихся ПГ от объектов дорожного хозяйства. Разработан механизм проведения инструментальной инвентаризации выбросов ПГ от транспортной системы региона.

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 парниковых газов, но и верификацию полученных значений. Проведённый эксперимент по расчету выбросов ПГ от автомобильного транспорта и объектов дорожного хозяйства для г. Санкт-Петербурга за период с 2014 по 2018 гг. включительно, показал, что, допустимой величиной неопределенности для рассмотренных показателей транспортной работы является величина равная 5,8 %, что свидетельствует о том, что полученные объемы выбросов ПГ за расчетный период (51,514 млн. т. CO₂-экв.) имеют высокую степень точности при этом достоверность показателей транспортной работы составила 94,2%.

Также, в рамках исследования определены наиболее подходящие алгоритмы интеллектуального анализа данных, позволяющие проводить верификацию используемых показателей, а также оценку эффективности внедрения новых, а именно, как применение нового показателя влияет на конечный результат расчетов.

3. Сформирован перечень показателей транспортной работы, необходимый для проведения инвентаризации выбросов парниковых газов транспортной

системы региона, как для автомобильного транспорта, так и для объектов дорожного хозяйства.

4. Разработана расчётная методика инвентаризации и верификации выбросов парниковых газов, позволяющая провести оценку объёмов образующихся выбросов парниковых газов в результате эксплуатации транспортных средств с одновременным проведением оценки эффективности мер направленных на сокращение выбросов ПГ.

5. Результатами численных экспериментов рассмотрены и обоснованы наиболее эффективные меры, направленные на снижение выбросов ПГ от автомобильного транспорта и объектов дорожного хозяйства для г. Санкт-Петербурга на период с 2017 по 2030 гг. реализация которых позволит снизить выбросы ПГ на 1 млн .332 тыс. тонн CO₂-экв.

– установлено, что экономическое стимулирование перехода населения и юридических лиц на использование ТС работающих на альтернативных видах топлива может привести к снижению выбросов ПГ на 865 тыс. тонн CO₂-экв. за рассматриваемый период, что составляет более 65% от общего вклада. Что также подтверждается ростом количества ТС работающих на природном газе и электромобилей (снижение выбросов на 298 тыс. тонн CO₂-экв.);

– внедрение мер связанных с уменьшением транзита ТС через город (расширение зон платного паркинга), способно привести к снижению выбросов ПГ на 112 тыс. тонн CO₂-экв. Также, изучение влияния такого показателя как внедрение экологического зонирования направленного на ограничение въезда ТС низкого экологического класса способно привести к снижению выбросов ПГ на 52 тыс. тонн CO₂-экв;

– оценка такого показателя как средняя скорость передвижения по городу, при допущении о ежегодном увеличении средней скорости передвижения ТС по транспортной системе г. Санкт-Петербурга за счет совершенствования дорожной сети и транзитных возможностей города, показала, что данная мера не оказывает существенного влияния на сокращение выбросов ПГ (ожидаемое снижение выбросов ПГ на 5 тыс. тонн CO₂-экв.).

Реализация данных мероприятий позволит существенно снизить антропогенное влияние на окружающую среду и привести к устойчивому снижению объемов выбросов ПГ, что подтверждается проведенной верификацией с помощью методов интеллектуального анализа (степень точности 95%).

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственные доклады и программы Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=75>.
2. Косарикова, Т.А. Разработка способов сокращения выбросов парниковых газов на территории промышленного региона: автореф. дис. ...канд.тех.наук:25.00.36/ Косарикова Татьяна Александровна. – Н.Н., 2004. – 22 с.
3. Чемезов, А.В. Прогнозирование выбросов парниковых газов в энергетике и оценка мероприятий по их сокращению: автореф. дис. ...канд.тех.наук: 05.14.01/ Чемезов Алексей Вениаминович. – Иркутск, 2003. – 28 с.
4. Уварова, Н.Е. Атмосферная эмиссия парниковых газов от нефтегазового сектора России: автореф. дис. ...канд.геогр.наук: 25.00.36/ Уварова Нина Евгеньевна. – М., 2012. – 27 с.
5. Прогноз научно-технологического развития российской федерации на период до 2030 года Приведение в соответствие с требованиями Федерального закона от 28 июня 2014 года № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации»
6. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. / Под ред. С. Игглестона, Л.Буэндиа, К.Мива, Т.Нгара и К.Танабе // Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. – ИГЕС, Япония. – 2006. – Т.1-5. [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>.
7. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2015 гг. – Москва. – 2017. – 471 с. [Электронный ресурс]. –

Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/NIR-2017_v1_fin.pdf.

8. ЕМЕР/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013 [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.

9. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. – М.: Автополис-плюс. – 2018 г. – 80 с.

10. COPERT Version 4 [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://emisiam.com/products/copert/copert-4>.

11. Transportation Emissions Evaluation Model for Projects (TEEMP) [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <https://www.itdp.org/transport-emissions-evaluation-model-for-projects-teemp-brt>.

12. For Future Inland Transport Systems (ForFITS) [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://www.unece.org/?id=19273>.

13. VISUM [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://ptv-vision.ru/produkty/visum>.

14. Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://www.hbefa.net/e/index.html>.

15. COPERT Micro [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://www.myengineeringworld.net/2013/02/copert-micro-tool-to-calculate-vehicle.html>.

16. COPERT Street Level [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://emisiam.com/products/copert-street-level>.

17. Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks (AimSun) [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://www.aimsun.com/>.

18. REMOVE [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://www.tml.eu/en/methode/tremove/index.htm>.
19. TREMOD Model [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <https://www.ifeu.de/en/methods/models/tremod/>.
20. SCENES [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: http://ec.europa.eu/environment/archives/tremove/pdf/tremove_williams_011116.pdf.
21. International Vehicle Emissions (IVE) [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://www.issrc.org/ive/>.
22. MOVES [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <https://www.epa.gov/moves/moves2014a-latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>.
23. Emissions Factors Model (EMFAC) [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <https://www.arb.ca.gov/emfac/>.
24. Globale Modellbildung für Emissions (GLOBEMI) [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: <https://workspace.imperial.ac.uk/environmentalpolicy/Public/APRIL/Nikolaus%20Ibesich.pdf>.
25. EMME III [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <https://www.inro.ca/en/products/emme>.
26. EUROSTAT [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/>.
27. CEFIC [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан. – URL: <http://www.cefic.org/Industry-support/Transport--logistics/>.
28. PDP Database [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: <https://www.ams.usda.gov/datasets/pdp/pdpdata>.
29. Passenger Car and Heavy Duty Emission Model (PHEM) [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. –

URL:<http://www.tfeip-secretariat.org/assets/Transport/Expert-Meetings/JRC-Expert-meeting-on-the-Development-of-Emission-Factors-for-Road-Transport-Sector-16-17-October-2008-Ispra-Italy/200810Hausberger.pdf>.

30. TRANSCAO [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <https://www.transco.eu/en/>.

31. TRANUS [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <http://www.tranus.com/tranus-english>.

32. Railtransport Handbook 2012. Energy consumption and CO₂ emissions. – International Energy Agency. – 2012. – 113 p. [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: http://uic.org/IMG/pdf/2012_uic-iea_railway_handbook_web_low.pdf.

33. Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов // European Environment Agency. – 2009. [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: <http://www.eea.europa.eu/ru/publications/emep-eea> (дата обращения: 12.10.2017).

34. Проект ПРООН/ГЭФ-Минтранс России «Сокращение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в городах России» в 2013-2017 г.г. [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: www.proecotrans.ru (дата обращения: 12.10.2017).

35. Пособие по расчёту сокращения выбросов парниковых газов за счёт проектов Глобального экологического фонда в транспортной отрасли. – ГЭФ. – 2010. – 41 с.

36. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации. Утв. распоряжением Минприроды России от 16.04.2015 №15-р. – М. – 2015. – 370 с.

37. LIPASTO [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/infoe_raide.htm.

38. MOVES [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон.

текст. и граф. дан. – URL: <https://www.epa.gov/moves/moves2014a-latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>.

39. RAILI [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <http://lipasto.vtt.fi/railie/index.htm>.

40. NONROAD [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm>.

41. Procedures for Emission Inventory Preparation, Volume IV: Mobile Sources. – EPA 450/4-81-026d, Office of Mobile Sources. – 1992.

42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Vol.1, Stationary Point and Area Sources. – 4th Ed. Research Triangle Park, NC, USA. – 1985.

43. Nonroad Engine and Vehicle Emission Study-Report. – EPA 460/3-91-02, Ann Arbor, MI, USA. – 1991.

44. Lloyd's Register [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <http://www.lr.org/en/>.

45. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – М., Минобрнауки, 2017. – 166 с.

46. Отчет НИР по теме: «Разработка проекта концепции энергосбережения и повышения энергетической эффективности в транспортной отрасли». Государственный контракт № РТМ-72/10 от 10 декабря 2010 г. – М.: ОАО НИИАТ. – 2011. – 303 с.

47. ГОСТ Р ИСО 14040-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. – М., Стандартинформ. – 2010. – 23 с.

48. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Президентом РФ 30.04.2012) [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129117/.

49. Указ Президента РФ от 19.04.2017 N 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/.

50. Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (Конвенция Эспо) [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/env_assessment.shtml.

51. Протокол по стратегической экологической оценке к конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: <http://www.unep.org/fileadmin/DAM/env/eia/documents/legaltexts/protocolrussian.pdf>.

52. The Clean Air Act [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview>.

53. The Energy Policy Act [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-energy-policy-act>.

54. The Energy Independence and Security Act [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-energy-independence-and-security-act>.

55. Assembly Bill [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: <https://www.arb.ca.gov/cc/docs/ab32text.pdf>.

56. Cap-and-Trade Program [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <https://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/capandtrade.htm>.

57. Handbook for Handling, Storing, and Dispensing E85.National Renewable Energy Laboratory (NREL). – Department of Energy (DOE) national laboratory, and the National Ethanol Vehicle Coalition (NEVC). – 2002.

58. Renewable Fuels Standard [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard>.

59. Grain and Cellulosic Ethanol: History, Economics, and Energy Policy / B.D.

Solomon, J.R. Barnes, K.E. Halvorsen // Biomass and Bioenergy. – 2007. – No. 31. – pp. 416–425.

60. Мировой опыт стимулирования рынка экологических видов транспорта. – Презентация фирмы Deloitte. – 10.07.2014 г. – 15 с.

61. Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <https://www.transportation.gov/mission/sustainability/corporate-average-fuel-economy-cafe-standards>.

62. IEA-Advanced Motor Fuels Annual Report 2014 [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. и граф. дан. – Систем. требования: Adobe Reader. – URL: http://iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annual%20Reports/IEA-AMF_2014_Annual_Report.pdf.

63 Уолш, М. Глобальные тенденции контроля автотранспортного загрязнения окружающей среды – изменения 2017 года // Презентация из цикла лекций международного обучающего научно-практического семинара по устойчивому городскому транспорту. – М., МАДИ. – 2017.

64. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, available at: <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/book.html> .

65. Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., Pal, C. J.. Data Mining: Practical machine learning tools and techniques. Morgan Kaufmann, 2016.

66. Федеральная служба государственной статистики. Транспорт и связь в России – 2016 г. [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/B16_5563/Main.htm.

67. Juran, J. M. (1992). Juran on quality by design: the new steps for planning quality into goods and services. Simon and Schuster.

68. Kotsiantis, S. B. Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. Informatica, – 2007 – № 31– pp. 249-268.

69. Kota, S. H., Zhang, H., Chen, G., Schade, G. W., Ying, Q. Evaluation of on-road vehicle CO and NO_x National Emission Inventories using an urban-scale source-oriented air quality model. Atmospheric environment – №85 – pp. 99-108.

70. Kononenko, I. Estimating attributes: analysis and extensions of RELIEF. In European conference on machine learning. Springer Berlin Heidelberg. –1994 – № 4 – pp.171-182.
71. Kira, K., Rendell, L. A. (1992, July). A practical approach to feature selection. In Proceedings of the ninth international workshop on Machine learning.– 1992– № 2 – pp. 249-256.
72. Kalousis, A., Prados, J., Hilario, M. Stability of feature selection algorithms: a study on high-dimensional spaces. Knowledge and information systems, – 2007 – Vol.12(1) – pp. 95-116.
73. King, M. A., Abrahams, A. S., Ragsdale, C. T. Ensemble methods for advanced skier days prediction. Expert Systems with Applications, – 2014 – № 41(4) – pp. 1176-1188.
74. Kohavi, R.. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In Ijcai, – 1995 – Vol. 14, № 2 – pp. 1137-1145.
75. Knoema. (2017, May 29). Crude Oil Price Forecast: Long Term 2017 to 2030 | Data and Charts. [электронный ресурс] [https://knoema.com/yxptpab/crude-oil-price-forecast-long-term-2017-to-2030 data-and-charts](https://knoema.com/yxptpab/crude-oil-price-forecast-long-term-2017-to-2030-data-and-charts).
76. Liu, H. B., Wang, Y., Chen, X., Han, S. Vehicle emission and near-road air quality modeling in Shanghai, China, based on taxi GPS data and MOVES revised emission inventory. Transp Res Rec J Transp Res Board, – 2013 – № 23 – pp. 33-48.
77. Legates, D. R., McCabe, G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water resources research – 2012– vol. 35(1) – pp.233-241.
78. Lang, H.. Topics on Applied Mathematical Statistics. KTH Teknikvetenskap, – 2013 – № 2 – pp. 97.
79. Marland, G., Boden, T. A., Andres, R. J., Brenkert, A. L., Johnston, C. A. Global, regional, and national fossil fuel CO2 emissions. Trends: A compendium of data on global change, – 2013 – Vol.2 – pp.34-43.
80. Metz, B., Davidson, O. R., Bosch, P. R., Dave, R. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change, 2007.

81. Manikandan, P., & Venkateswaran, C. J. Feature Selection Algorithms: Literature Review. *International Journal*, – 2015– Vol. 5(3) – pp.21.

82. Murata, A., Fujii, Y., Naitoh, K. Multinomial Logistic Regression Model for Predicting Driver's Drowsiness Using Behavioral Measures. *Procedia Manufacturing*, – 2015 – № 3 – pp. 2426-2433.

83. McCulloch, W. S., Pitts, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, – 1993 – Vol. 5(4) – pp. 115-133.

84. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. Let a biogeography-based optimizer train your multi-layer perceptron. *Information Sciences*, – 2014 – № 269 – pp. 188-209.

85. Melin, P., Sánchez, D.,Castillo, O. Genetic optimization of modular neural networks with fuzzy response integration for human recognition. *Information Sciences*, – 2012 – № 197– pp.1-19.

86. Maqsood, I., Khan, M. R.,Abraham, A. An ensemble of neural networks for weather forecasting. *Neural Computing & Applications*, – 2014 – Vol. 13(2) – pp. 112-122.

87. Ma, C. C. Y., Iqbal, M. Statistical comparison of models for estimating solar radiation on inclined surfaces. *Solar Energy*, – 1983– Vol. 31(3) – pp. 313-317.

88. Mashaly, A. F., Alazba, A. A. MLP and MLR models for instantaneous thermal efficiency prediction of solar still under hyper-arid environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, – 2016 – Vol. 122 – pp. 146-155.

89. National Inventory Submissions. [электронный ресурс] http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php

90. Niu, X., Yang, C., Wang, H., Wang, Y. Investigation of ANN and SVM based on limited samples for performance and emissions prediction of a CRDI-assisted marine diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, – 2017– Vol. 111 – 1353-1364.

91. Newfoundland and Labrador. Climate Change Action Plan. [электронный ресурс] http://www.exec.gov.nl.ca/exec/occ/publications/climate_change.pdf

92. Nova Scotia. Toward a Greener Future. [электронный ресурс]

<https://climatechange.novascotia.ca/sites/default/files/uploads/ccap.pdf>

93. Opitz, D. W., Maclin, R. Popular ensemble methods: An empirical study. *J. Artif. Intell. Res.(JAIR)*, – 1993 – № 11 – pp.169-198.

94. Parry, I., Veung, C., Heine, D. how much carbon pricing is in countries' own interests? the critical role of co-benefits. *Climate Change Economics*, – 2015 – № 6(04) – pp. 155.

95. Prince Edward Island. Strategy for Reducing the Impacts of Global Warming. [электронный ресурс] http://www.gov.pe.ca/photos/original/env_globalstr.pdf

96. Park, H. An introduction to logistic regression: from basic concepts to interpretation with particular attention to nursing domain. *Journal of Korean Academy of Nursing*, – 2013 – № 43(2) – pp. 54-164.

97. Peng, C. Y. J., Lee, K. L., Ingersoll, G. M. An introduction to logistic regression analysis and reporting. *The journal of educational research*, – 2011 – Vol. 96(1) – pp. 3-14.

98. An ensemble based data fusion approach for early diagnosis of Alzheimer's disease. *Information Fusion*, – 2011 – № 9(1) – pp. 83-95.

99. Tami, C. Bond Climate Science and Major Sources // U.S. EPA Region 9 – Black Carbon Symposium. – November 14, 2012 – № 1. – pp. 18-21.

100. Particulate emission factors for mobile fossil fuel and biomass combustion sources / J.G. Watson, J.C. Chow, L.-W.A. Chen, D.H. Lowenthal, E.M. Fujita, H.D. Kuhns, D.A. Sodeman, D.E. Campbell, H. Moosmüller, D.Z. Zhu // *Scientific Total Environment*. – 2011 – № 11 – pp. 121.

101. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing in Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / P. Forster, V. Ramaswamy, P. Artaxo et al. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 2007– № 7 – pp. 87-96.

102. Rhode, H. A Comparison of the Contribution of Various Gases to the Greenhouse Effect // *Science*. – 1990. – № 248. – pp. 1217-1219.

103. U.S. Department of Energy, A Primer on Greenhouse Gases, DOE/NBB-

0083. – Washington, DC. – March 1988.

104. Gates, D.M. Climate Change and Its Biological Consequences. – Sunderland, MA: Sinauer Associates Publishers, Inc. – 1993. – 9 p.

105. Energy Information Administration, Emissions of Greenhouse Gases in the United States 1987-1994. – Washington, DC. – October 1995. – 6 p.

106. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 2007. – 996 p.

107. Grossman, A.S., Wuebbles, D.J. Global Warming Potential for SF₆ // UCRL Report. –1992. – pp. 1-3.

108. U.S. Energy Policy and Conservation Act of 1975 [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_Policy_and_Conservation_Act.

109. Energy Independence and Security Act of 2007 [Электронный ресурс] // Информационный вебсайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_Independence_and_Security_Act_of_2007.

110. Do the Right Mix. Sustainable Urban Mobility [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <http://dotherightmix.eu/>.

111. Environmentally Sustainable Transport. Futures, strategies and best practices. Syn-thesis Report of the OECD project on Environmentally Sustainable Transport EST // The Inter-national EST! Conference 4th to 6th October 2000, Vienna, Austria. – 2000.

112. FEV [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф. дан.– URL: <http://www.fev.com/>.

113. European Roadmap Heavy Duty Truck. – Ricardo The Hardstaff Group, AVL, ER-TRAC. – 2012 – № 1 – pp. 12-16.

114. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс] // Информационный веб-сайт. – Электрон. текст. и граф.

дан.– URL: <https://www.mintrans.ru/documents/3/1009>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А - Прогноз численности автотранспортных средств в г. Санкт-Петербурге на период до 2030 г., тыс. ед.

Показатель	2015 г.	2020 г.	2030 г.
Консервативный сценарий			
г. Санкт-Петербург			
Грузовые автомобили	221,4	247,3	341,4
Автобусы	19,6	22,6	23,5
Легковые автомобили	1711,3	1879	2425,3
Итого	1952,3	2148,9	2790,1
Инновационный сценарий			
г. Санкт-Петербург			
Грузовые автомобили	221,4	264,8	392,1
Автобусы	19,6	24,7	26,5
Легковые автомобили	1711,3	2076,4	2982,4
Итого	1952,3	2365,9	3401,1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Прогнозные значения суммарного пробега автотранспортных средств в г. Санкт-Петербурге для консервативного и инновационного сценариев развития транспортной отрасли, км

Год	2016	2017	2018	2019	2020
консервативный вариант					
Легковые	51324330000	52547754952	53771179904	54987991748	56211416700
Грузовые АТС кат. N1	8443250000	8524748552	8589947394	8671445946	8736644788
Грузовые АТС кат. N2	1415700000	1429365058	1440297104	1453962162	1464894208
Грузовые АТС кат. N3	6096000000	6154841699	6201915058	6260756757	6307830116
Автобусы М2	707850000	724723116	741596232	758378142	775251258
Автобусы М3	782050000	800691831	819333662	837874726	856516557
Прочие (категорий L3-L5, L7)	1464740000	1499655204	1534570408	1569296881	1604212085
инновационный вариант					
Легковые	51324330000	53539721129	55755112258	57963890279	60179281408
Грузовые АТС кат. N1	8443250000	8867042471	9274535232	9698327703	10105820464
Грузовые АТС кат. N2	1415700000	1486758301	1555083591	1626141892	1694467182
Грузовые АТС кат. N3	6096000000	6401976834	6696185328	7002162162	7296370656
Автобусы М2	707850000	738404020	768958040	799420854	829974874
Автобусы М3	782050000	815806829	849563658	883219720	916976549
Прочие (категорий L3-L5, L7)	1464740000	1527964829	1591189658	1654225756	1717450585
Год	2021	2022	2023	2024	2025
консервативный вариант					
	57137251799	58063086898	58988921997	59914757096	60840592195
	8915941603	9095238418	9290834943	9470131758	9649428573
	1494957335	1525020462	1557816601	1587879728	1617942855
	6437281853	6566733590	6707953667	6837405404	6966857141
	788020102	800788946	813557790	826326634	839095478
	870623889	884731221	898838553	912945885	927053217
	1630634402	1657056719	1683479036	1709901353	1736323670
инновационный вариант					
	61105116507	62030951606	62956786705	63882621804	64808456903
	10513313225	10920805986	11311999036	11719491797	12126984558
	1762792472	1831117762	1896710040	1965035330	2033360620
	7590579150	7884787644	8167227798	8461436292	8755644786
	842743718	855512562	868281406	881050250	893819094
	931083881	945191213	959298545	973405877	987513209
	1743872902	1770295219	1796717536	1823139853	1849562170

Год	2026	2027	2028	2029	2030
консервативный вариант					
	61766427294	62692262393	63618097492	64543932591	65469767690
	9796125967	9942823361	10105820465	10252517859	10399215253
	1642539959	1667137063	1694467179	1719064283	1743661387
	7072772199	7178687257	7296370655	7402285713	7508200771
	851864322	864633166	877402010	890170854	902939698
	941160549	955267881	969375213	983482545	997589877
	1762745987	1789168304	1815590621	1842012938	1868435255
инновационный вариант					
	65469767688	66131078473	66792389258	67453700043	68115010828
	12485578187	12844171816	13202765445	13561359074	13919952703
	2093486875	2153613130	2213739385	2273865640	2333991895
	9014548261	9273451736	9532355211	9791258686	10050162161
	902939697	912060300	921180903	930301506	939422109
	997589874	1007666539	1017743204	1027819869	1037896534
	1868435253	1887308336	1906181419	1925054502	1943927585