

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Высшая школа экономики и управления  
Кафедра «Прикладная экономика»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, начальник отдела  
экологического просвещения и  
туризма ОГУ ООПТ Челябинской  
области

\_\_\_\_\_ О.В. Чаркина  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,  
д.э.н., доцент

\_\_\_\_\_ Т.А. Худякова  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Умная среда в концепции Smart cities: система экологического монито-  
ринга

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ– 380401.2021. 117.ПЗ ВКР

Руководитель работы  
к.э.н., доцент

\_\_\_\_\_ С.И. Бородин  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Автор работы  
студент группы ЭУз-384

\_\_\_\_\_ М.С. Галичанина  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Нормоконтролер  
Старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Н.В. Тихонова  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Челябинск 2021

## АННОТАЦИЯ

Галичанина М.С. Умная среда в концепции Smart cities: система экологического мониторинга. – Челябинск: ЮУрГУ, ЭУз-384, 103 с., 23 ил., 49 табл., библиогр. список – 108 наим., 1 прил.

Выпускная квалификационная работа выполнена с целью выявления возможности внедрения более технологичных систем мониторинга атмосферного воздуха в рамках концепции Smart City и расчета эффективности от внедрения таких систем на территории Челябинской области.

Теоретическая часть выпускной квалификационной работы содержит основные теоретические основы терминов концепции Smart City, определения направления деятельности Умная среда в рамках концепции.

Практическая часть выпускной квалификационной работы анализ применения технологий направления «Умная среда» в мировой практике, выявление показателей, влияющих на эффективность внедрения системы экологического мониторинга и расчет эффективности внедрения системы экологического мониторинга.

В результате проведенной работы: выявлены основные факторы, оказывающие негативное воздействие на состояние атмосферы; произведен расчет эффективности внедрения системы мониторинга на территории области.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 УМНАЯ СРЕДА КАК ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КОНЦЕПЦИИ SMART CITY .....	7
1.1 Определение и направления деятельности концепции Smart city .....	7
1.2 Направление деятельности умная среда в концепции Smart cities .....	13
1.3 Умная среда мировая практика .....	21
2 ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УМНАЯ СРЕДА В КОНЦЕПЦИИ SMART CITY .....	28
2.1 Система экологического мониторинга атмосферного воздуха.....	28
2.2 Применение системы экологического мониторинга для улучшения экологической среды.....	36
2.3 Математические методы расчета эффективности внедрения системы экологического мониторинга в концепции Smart cities .....	40
3 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	55
3.1 Характеристика текущего состояния загрязнения воздуха на территории Челябинской области .....	55
3.2 Анализ факторов воздействия на объем выбросов загрязняющих веществ	62
3.3 Эффективность внедрения системы экологического мониторинга на территории Челябинской области .....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	88
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	102

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Преобладающая в настоящий момент современная экономическая модель, привела к значительному повышению успеха и благополучия многих сообществ, но несмотря на это ее процесс ее жизнедеятельности стал причиной появления значительных негативных финансовых и экономических кризисов. Одной из таких причин является неправильное и нерациональное использование природных богатств. На протяжении последнего столетия мировая экономика развивалась за счет бесконтрольного потребления и переработки ресурсов, т.е. обособленность процессов производства товара и предоставления услуг от природных закономерностей. Загрязнение воздуха, ограниченность ресурсов, выброс отходов, не учитывался в процессе производства товаров и услуг. Со временем в последствии роста населения в городах, а также развития технологий, мировое сообщество пришло к тому, что экономика самостоятельно неспособна решить проблему негативного воздействия на обряжающую среду и истощения природных ресурсов.

В настоящее время экологическую ситуацию в мире можно охарактеризовать как близкую к критической. Данные проблемы приводят к ухудшению качества жизни людей в городе и подвергают риску их здоровье. Поэтому в последнее время для России и для всего мира в целом все более актуальными становятся проблемы в экологической сфере и необходимости совершенствования технологий для улучшения качества экологической обстановки в городах.

Ключевым показателем эффективности развития концепции Smart City служит показатель качества жизни, который напрямую зависит от экологической обстановки в городе. Одна из глобальных проблем экологии связана с загрязнением атмосферного воздуха, данная проблема характерна для Челябинской области.

**Целью работы** является выявление эффективности от внедрения системы экологического мониторинга на территории Челябинской области, которая направлена на уменьшение количества выбросов в атмосферный воздух.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели, необходимо ре-

шить следующие задачи:

1. Анализ направления деятельности «Умная среда» (умный подход к окружающей среде) в концепции Smart City.
2. Анализ применения технологий направления «Умная среда» (умный подход к окружающей среде) в мировой практике.
3. Анализ методов, моделей улучшения экологической среды.
4. Выявление показателей, влияющих на эффективность внедрения системы экологического мониторинга.
5. Расчет эффективности внедрения системы экологического мониторинга.

**Объектом исследования** является улучшение экологической обстановки на территории Челябинской области посредством внедрения инновационных технологий в рамках концепции Smart City.

**Предмет исследования.** В качестве предмета исследования выступает расчет эффективности от внедрения системы экологического мониторинга на территории Челябинской области.

**Методы исследования.** При выполнении работы использовались следующие методы исследования: экономико-математическое моделирование, статистический метод, структурный анализ, теоретические методы, индуктивные и дедуктивные методы, сравнение и анализ, др.

**Теоретическая база исследования.** В процессе написания выпускной квалификационной работы были использованы труды отечественных и зарубежных учёных, таких как М.Н. Груздева [22], И.А. Кишеева [43], А.З. Разяпов [69], Р. Холландс [89], М.В. Аргунова [6], В.И. Дрожжинов [29], В.А. Ильичев [35], А.В. Коськин [48], И.Я. Лукасевич [53] и других, а также законодательные и нормативные акты РФ.

**Информационная база исследования.** В качестве информационной базы исследования выступили ежегодный консолидированный отчет Министерства экологии Челябинской области за 2016-2020 гг., материалы периодических изданий по теме исследования, аналитические и информационные материалы, представ-

ленные в компьютерной сети Интернет, справочные материалы, результаты анализа финансового состояния предприятия по выбранной методике.

**Структура работы.** Выпускная квалификационная работа структурно состоит из следующих элементов: введение, три основные главы, заключение, библиографический список, приложения.

В первой главе даётся краткая характеристика концепции Smart city и рассматривается необходимость ее применения в современных условиях; раскрыта значимость направления Умная среда в рамках Smart city и проблема выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух; приводится пример применения инновационных технологий в рамках концепции Smart city в разных странах.

В рамках второй главы выпускной квалификационной работы описывается принцип работы системы экологического мониторинга и рассматривается возможность улучшения экологической обстановки за счет внедрения таких систем в рамках концепции Smart city. Описывается принцип имитационного моделирования сложных эколого-экономических систем.

В заключительной третьей главе работы производится оценка эффективности внедрения системы экологического мониторинга и даётся прогноз финансового состояния бюджета при условии их реализации.

Объём основного материала пояснительной записки составляет 103 страниц, количество рисунков – 23, таблиц – 29, число наименований списка использованных источников и литературы – 108, количество приложений – 1.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что полученные результаты исследования могут быть использованы с целью улучшения экологической обстановки в регионе и экономии бюджетных средств на процесс мониторинга атмосферного воздуха на территории субъекта.

# 1 УМНАЯ СРЕДА КАК ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КОНЦЕПЦИИ SMART CITY

## 1.1 Определение и направления деятельности концепции Smart city

В настоящее время процесс урбанизации значительно обострил проблемы городов связанных с ростом объемов отходов жизнедеятельности людей и организацией их утилизации, нехваткой материальных ресурсов, нарушением экологии, транспортным коллапсом. Мощностей городских инфраструктур «старых» городов в связи с ростом их населения, увеличением площади уже не хватает. На модернизацию городских пространств, а, иногда, и утилизацию, требуются значительные средства. В недалеком будущем, когда городское население в мире достигнет 75%, нас может ожидать тотальный коллапс инфраструктуры и коммунальных служб.

Разработка концепции Smart city является глобальным направлением по решению этих проблем. Целью, концепции является: обеспечение современного качества жизни населения за счет применения инновационных технологий, которые предусматривают экономичное, экологичное и безопасное использование городских систем жизнедеятельности [10].

«Интерес к тематике умного города в России увеличивается с каждым годом, во многом это зависит от того, что многие города подходят к пределам надежности и функциональности, существующей на сегодняшний день, инфраструктуры. Уже апробированные решения были точными, а опыт интеллектуализации одной из городских систем сложно перенести на другие. Напротив, в концепции Smart city как система рассматривается весь город, который проектируется и управляется на новом уровне эффективности, будь то сугубо технологическом или социально-урбанистическом аспекте» [88].

На данном этапе концепция Smart city успешно внедрена в таких странах, как Сингапур, США, Канада, Япония, Испания, Франция, Марокко, Нидерланды, Финляндия, Китай, ОАЭ, Южная Корея, Казахстан. В России концепция Smart

city начала внедряться в проектах Greenfield (Республика Татарстан, проекты «Иннополис», «SmartCityKazan» – строительство нового района в г. Казань, проект «Сколково», Московская область, новый город «Усть-Луга», Ленинградская область, кластеры олимпийских объектов, г. Сочи, Красноярский край, микрорайон «Smart city», г. Ульяновск), что стало основой процесса принятия эффективных управленческих решений по созданию комфортных условий для жителей крупных российских городов.

До настоящего времени нет однозначного и общепринятого толкования термина Smart city, несмотря на то, что его используют в большом количестве докладов, статей, тематических исследований во всем мире с различными контекстами и прикладными аспектами, например:

– «умный город» – это многомерная концепция и модель, основанная на информационно-цифровых технологиях, структурированных вокруг нескольких основных компонентов: умная среда, умная мобильность, умное управление, умная работа и отдых, умная жизнь, т.е. все, что нацелено на формирование благополучия и благосостояния людей» [29];

– «умный город» (smart city) представляет собой городское поселение, в котором управление всеми функциями города базируется на современных информационно-коммуникационных технологиях» [35];

– «умный город» – это системы людей, взаимодействующих с потоками энергии, материалов, услуг и финансов и использующих эти потоки для стимулирования устойчивого развития, обеспечения высокого уровня жизни» [48];

– «умный город» – стратегия, направленная на оказание содействия городам в использовании последних возможностей в области технологий и экономики для обеспечения граждан более высоким качеством жизни при решении городских энергетических и экологических проблем [9].

Достаточно точное и комплексное определение понятия предложила Европейская комиссия по «умным городам» и сообществам (European Commission Smart cities and Communities) «Smart city» – это системы людей, использующих и



взаимодействующих с потоками энергии, материалов, услуг и финансов для стимулирования устойчивого экономического развития, обеспечения высокого качества жизни. Эти потоки и взаимодействия становятся «умными» путем стратегического использования информационной и коммуникационной инфраструктуры и услуг в процессе городского планирования и управления отвечающего социальным и экономическим потребностям общества [76].

Основными задачами Smart city выступают, как правило, сбор и передача данных управленческим структурам, налаживание системы обратной связи между административными властными ресурсами, урбанистами и горожанами.

Исходя из представленных определений Умного города можно дать толкование термину концепция Smart city. Концепция Умного города – это новая стратегия городского развития в мире, ключевое направление Национальной технологической инициативы, которое относится к рынку EnergyNet. Она направлена на оказание помощи городам в части использования разработок в научной сфере, обеспечения жителей лучшим качеством жизни [9].

Таким образом, можно сказать, что концепция Smart city нацелена на обеспечение современного качества жизни людей за счет применения инновационных технологий. При этом разнообразные факторы городского развития объединяются в единую систему с помощью передовых информационно-коммуникационных технологий.

В разных источниках приводятся различные наборы отличительных признаков, характеристик и компонентов Умного города, отражающих два основных подхода:

1) Технологический, учитывающий применение конкретных технических решений, SMART-технологий, наличие электронных сетей, вовлеченность Интернета и др.

2) Комплексный, учитывающий показатели уровня развития и интеграции сфер городского хозяйства, наличие обратной связи с горожанами и уровня их вовлеченности [79,69].

В ведомственных документах проекта «Умный город», реализуемых Минстроем России отражен технологический подход, который предусматривает:

- умное управление городом
- умные системы ЖКХ;
- применение инноваций в городской среде;
- умный общественные и личный транспорт;
- интеллектуальные системы общественной безопасности;
- интеллектуальные системы экологической безопасности;
- инфраструктура сетей связи;
- туризм и сервис [67,81,89].

Разработанные показатели «Умного города» Минстроем России, представлены в Приложении 1.

Комплексный подход – система, состоящая из взаимосвязанных секторов. Самых по себе технологий недостаточно, не менее важную роль должны играть люди.

Компоненты Smart city и взаимодействие ИКТ со многими секторами для расширения сферы и улучшения качества услуг представлены на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Компоненты Smart city и взаимодействие ИКТ

– мобильность, оказание услуг при помощи мобильных устройств из любого места в любое время;

– хакатон, возможность коллективной разработки различных платформ, мобильных приложений и операционных системы специалистами, имеющими разную направленность деятельности (например: программисты, менеджеры, дизайнеры);

– под технологической эластичностью понимается создание устойчивой технологической инфраструктуры, при помощи которой будет обеспечена надежная связь и мобильность, позволяющая городам легче противостоять потрясениям и стрессам (транспортные коллапсы, кибер-атаки, безработица, наводнения, землетрясения и пр.) или приспосабливается к подобным ситуациям. Атрибутами технологически эластичного города считается обучение, просвещение и готовность к чрезвычайным ситуациям;

– вовлечение жителей власти города мотивируют общественность путем вовлечения граждан в процесс принятия решения, поддержание обратной связи с горожанами, поощрение их участия и содействие в решении проблем. Жители города полностью осведомлены о возможных угрозах для местного сообщества, участвовать в формировании местных бюджетов;

– электронное правительство подразумевает использование технологии для предоставления государственных, муниципальных услуг общественности. Цель создания и работы электронного правительства – улучшить методы оказания муниципальных услуг и расширить вовлечение горожан в сферу муниципальных услуг [3,13,20,28].

Таким образом, отличительными признаками Умного города является не само применение информационных технологий, а тот уровень взаимосвязи, интегрированности разных секторов города, который можно обеспечить при помощи интеллектуальной модернизации.

В Умном городе интеллектуальная модернизация происходит во всех отраслях жизнедеятельности города. К первоочередным отраслям, нуждающимся в интел-

лектуальной модернизации относятся: государственное управление, инфраструктура города и экономика, которые представлены в таблице 1.1 [4,31,42].

Таблица 1.1 – Важнейшие направления развития Smart city

Инновационная экономика	Городская инфраструктура	Государственное Управление
Инновации в промышленности, кластерах, районах города	Транспорт	Административные услуги гражданам
Умная рабочая сила: образование и занятость	Энергетика/ Коммунальные услуги	Представительная прямая демократия
Создание наукоёмких компаний	Защита окружающей среды/ Безопасность	Услуги для граждан/ Качество жизни

При строительстве умного города компании и правительство исходят из конкретных принципов: современные города не могут развиваться стихийно, как это было со средневековыми городами. Все это позволяет выработать общие критерии для определения Smart city (Рис. 1.2).

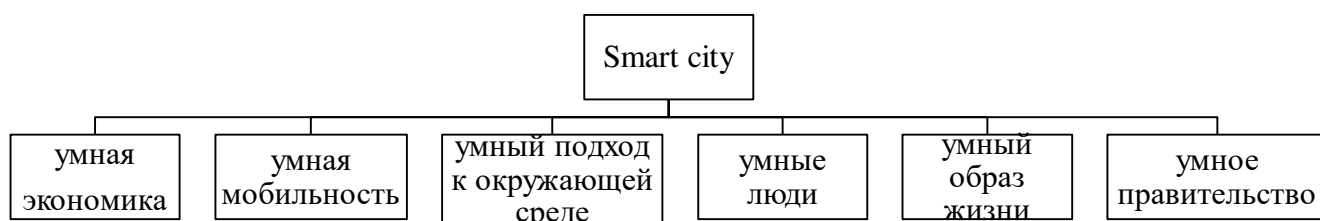


Рисунок 1.2 – Критерии определения Smart city

«Исследователи Венского университета предложили шесть основных критериев для определения, какой город является Smart city:

- умная экономика;
- умная мобильность;
- умный подход к окружающей среде;
- умные люди;
- умный образ жизни;
- умное правительство.

Кроме того, авторами исследования относительно Smart city в Европе выделены шесть характеристик которые являются важнейшими для того или иного города при внедрении концепции Smart city» [39]. (Таблица 1.2)

Таблица 1.2 – Характеристики Smart city [39]

Направление деятельности	Характеристика
Умная экономика	предпринимательство, способность к трансформации, гибкость рынка трудовых ресурсов и т.д.
Умные люди, человеческий капитал	признание права всех общин, открытость сознания, космополитизм и т.д.
Умное управление, умное правительство	вовлечение населения в процесс принятия решений, создание стратегических планов развития, постановка задачи стратегического характера
Умная безопасная транспортная и информационная инфраструктура	доступность города и районов внутри него для индивидов извне и т.д.
Умное отношение к окружающей среде	сохранение природных ресурсов, ориентация на устойчивое развитие, борьба с загрязнением окружающей среды и т.д.
Умная организация жизни в городе	наличие культурных объектов, объектов здравоохранения, образовательных центров и т.д.

«Каждая из шести характеристик несет в себе существенную экономическую функцию, реализация которой оказывает существенное влияние на индивидов и бизнес в сфере повышения качества жизни, а также увеличения экономических возможностей бизнеса» [39].

Преобразование индустриальных городов в Smart city является общемировой тенденцией, а также реально достижимой перспективой для российских городов. В то же время переориентация в стратегии развития городов, мегаполисов и их агломераций предполагает кардинальную перестройку системы управления развитием муниципалитетов, включающую смену приоритетов, стандартов, критериев, целей и задач, показателей результативности и эффективности [98-100].

## 1.2 Направление деятельности умная среда в концепции Smart cities

Направление «Умная среда» напрямую связано с негативным влиянием жизнедеятельности всех городских сфер на экологическую обстановку, что в свою очередь ведет к ухудшению условий жизни в городах. Вторая половина нового столетия обозначила существующую проблему, которая обусловлена интенсивным развитием научно-технического прогресса и ростом промышленности. Бес-

контрольное развитие и укрупнение промышленных городов привели к тому, что возникла потребность в пищевых продуктах, больших количествах воды и строительных материалов. Повсюду начали возникать и настойчиво заявлять о себе вырвавшиеся из-под контроля процессы загрязнения окружающей среды [40,102].

В настоящее время во всем мире и в Российской Федерации экологические проблемы оказывают катастрофическое воздействие на все жизненные системы. Проводя анализ современным тенденциям устойчивого развития экономической системы, можно судить о ее масштабной трансформации под воздействием социального и научно-технического прогресса, охват которого затрагивает практически все сферы жизнедеятельности человека. Многие регионы Российской Федерации имеют трудности, которые связаны с обеспечением экономической и экологической безопасности [14,18,27,85].

В таких условиях возросла значимость и роль экономического фактора в определении стратегического развития региона, которая приобретает все большее значение в вопросе экологической и экономической безопасности субъекта. Устойчивое развитие региона, а также его конкурентоспособность являются приоритетными задачами для стратегического развития региона, а экологическая и экономическая безопасность считаются одним из важнейших факторов. Следовательно, проблемы, связанные с экологией неотделимы от экономических проблем [103].

Понятие безопасности рассматривает три основных элемента: первый интересы регионов страны; второй возможные угрозы. Органы власти, организации и предприятия, осуществление деятельности которых ведется на территории рассматриваемой страны, проживающее на рассматриваемой территории население являются участниками данной системы. Перечисленные участники системы в свою очередь имеют собственные потребности и определенные интересы, которые могут являться противоречивыми. Так заинтересованность предприятий, которые осуществляют свою производственную деятельность на территории страны в минимизации издержек в части охраны окружающей среды обусловлена сохранением экономических показателей. Одновременно с этим граждане, проживаю-

щие на территории Российской Федерации и в частности Челябинской области заинтересованы в поддержании улучшения качества жизни, но при этом не готовы нести значительные затраты на природоохранные мероприятия [15,21,41,104].

Экологический кластер в умном городе представляет особую значимость, так как умный город – это устойчивый город, а устойчивое развитие невозможно без решения проблем, связанных с окружающей средой и обеспечением экологической безопасности [55].

Следует сказать, что проблемы в экологическом секторе затрагивают больше половины населения мира. Городские территории начинают занимать все большие площади земли и такое развитие влечет за собой все большее экологические проблемы, потребность в решении которые встает все более остро. При таком динамическом росте урбанизации, увеличиваются темпах промышленной и хозяйственной деятельности, что в свою очередь приводит к росту антропогенной нагрузки на окружающую среду. В природной среде распространяются техногенное воздействие, перемещение воздушных потоков способствует переносу токсичных веществ на большие территории. В таком случае экологические проблемы одного города могут вызвать аналогичные проблемы у близлежащих территории, такая связь приводит к постановке проблемы как глобальной [44,49].

Источники загрязнения классифицируются по нескольким признакам, таким как:

- продолжительность воздействия на окружающую среду (периодические, эпизодические, постоянные);
- локализация загрязнения (стационарные, передвижные). В этом случае стационарными источниками выступают источники загрязнения промышленных предприятий, а к передвижным относится автотранспорт;
- локализация места удаляемых загрязнителей (линейные, площадные, точные). Точные – удаляемы загрязнители расположены централизованно. Линейные – загрязнители удаляются вдоль линии. Площадные – удаленные загрязнители рассредоточены на территории определенной площади;

– организованные и неорганизованные. В случае организованности источника рассматривается специальное оборудование и сооружение, а неорганизованных загрязнители поступают в атмосферный воздух в следствии неисправной работы оборудования, чрезвычайных ситуаций (аварии) и др.

– высотность. Удаляемые загрязнители имеют градацию в зависимости от высоты [51,52,94].

Российские города в большей своей степени считаются промышленными. Для некоторых городов Российской Федерации промышленность являлась градообразующей базой. Интенсивное развитие промышленности на территории городских пространств привело к значительным экологическим проблемам.

В результате деятельности таких предприятий в атмосферный воздух выделяется значительный объем загрязняющих веществ, которые способны менять ход природных процессов и привести к негативным изменениям климата и городских пространств.

Большая часть предприятий промышленной сферы с имеющимися в настоящий момент технологиями в производстве не в силах решить сложившиеся проблемы. Внедрение инновационных технологий в процесс деятельности предприятий-загрязнителей, которые соответствуют требованиям умного города, поможет уменьшить производимую нагрузку на экологию [72,91,93].

Но не только результат деятельности промышленных предприятий приводит к катастрофическим проблемам в экологической среде, также значимая доля загрязнения в этой области принадлежит автотранспорту. Процесс урбанизации привел к росту автомобилей во всем мире, так уровень автотранспорта в городах развитых стран составил более четырехста автомобилей на тысячу жителей. Опасность данного загрязнителя в первую очередь обусловлена непосредственной близостью в «жилым» территориям и ежедневно негативно сказывается на здоровье населения. Большое скопление выбросов вредных веществ от автотранспорта зафиксировано в зоне действия светофоров. Для жилых районов в которых располагается высотные здания и узкие улицы, концентрация выброса загрязняющих



веществ от автомобилей превышает допустимые нормы, что влечет за собой хронические отравления у жителей, которые в меру своей необходимости длительное время находятся на улице [61,71,84].

Глобальная проблема вызвала тревогу у большинства стран мира и заставила органы власти искать пути улучшения. Так в целях охраны городской среды в процессе градостроительной деятельности экологические приоритеты были взяты в учет и стали включать в себя такие важные факторы как включение в планировочную структуру города природных ландшафтов (водоемы, лесные насаждения и пр.); баланс между заселенными городскими территориями и природными; увеличение площади «зеленых зон», которые предназначены для общего пользования; исключение из районов, категория которых рассматривается как «жилые» предприятий, которые в процессе своей деятельности производят вредные и опасные вещества; постройка объездных путей и скоростных автомагистралей, которая снижает загруженность автодорог на территории города и другие [8,87,90,92].

Проблема истощаемости невозобновляемых природных ресурсов обсуждается давно и с постоянно растущим потреблением этот вопрос встает всё более остро. Концепция умного города предполагает значительное улучшение энергоэффективности за счет применения экологичных, энергосберегающих и безопасных технологий, модернизации топливно-энергетического комплекса, ЖКХ, транспорта.

К основным показателям эффективности Smart city по направлению умная среда относятся:

- качество обнаруженных незаконных свалок на территории городских пространств;
- доля свалок, ликвидированных городской администрацией;
- доля зафиксированных загрязняющих веществ в атмосфере;
- доля обезвреженных загрязняющих веществ атмосферы в пропорции общего загрязнения;
- количество потребляемой возобновляемой электроэнергии;

- производство возобновляемой электроэнергии;
- энергосбережение домашних хозяйств;
- количество квалифицированных специалистов, работающих в области мониторинга местных видов [23,26,108].

Технологии Умного города имеют огромное значение для экономии ресурсов самого различного назначения, кроме того с их помощью можно решить проблему истощаемости природных ресурсов по двум направлениям. К первому направлению относится возможность поиска ресурсов и альтернативных источников энергии, ко второму относится экономия уже существующих на данном этапе возможностей. В том и другом случае инновационные, «умные» технологии играют весомую роль, достижение поставленных целей без них практически невозможно. В текущий момент времени многими странами разрабатываются разнообразные варианты возобновляемых источников энергии, такие как ветряные, солнечные, приливные и геотермальные электростанции, которые в процессе своей работы могут обеспечить энергетическую безопасность, а кроме того позволяют снизить количество производимых загрязняющих атмосферу веществ [46,54,60].

Особое внимание в экологическом кластере Smart city уделяется атмосферному воздуху. Основными источниками загрязнения являются промышленные и транспортные центры, которые в свою очередь сталкиваются с проблемой выброса загрязняющих веществ в атмосферу городских пространств и близлежащих территорий [5].

Чистый воздух считается основным требованием для здоровья человека и благополучия. Несмотря на внедрение более «чистых» технологий в сферу промышленности, энергетических производств и транспорта, проблема загрязнения воздуха остается актуально и считается серьезной угрозой для здоровья человека. Загрязнение воздуха отвечает за причинение или ускорения миллионов смертей ежегодно.

Проблема экологии городских территорий, в частности загрязнения воздушного бассейна в настоящее время приобретает все большую актуальность, ведь она

на прямую связана с показателями, как качества жизни населения, так и здоровья граждан.

Для решения существенной экологической проблемы в рамках концепции Smart city применяются различные подходы такие как:

- использование в промышленном производстве инновационное и экологичное оборудование;
- контроль и уменьшение выброса загрязняющих веществ в атмосферу при помощи внедрения инновационных программ;
- переход на более экологичный транспорт;
- увеличение числа зеленых зон и парков.

Данные методы помогают уменьшить загрязнение воздуха в городах и улучшить качество жизни населения [80].

Одна из основных целей Европейского инновационное партнерство «Smart Cities & Communities», которое было создано для борьбы с загрязнением воздуха, высокими ценами на энергоресурсы, заботы об окружающей среде и повышения энергетической эффективности европейских городов является удельное снижение потребления углеводов в городах. [7]

Одним из направлений европейской программы «Sustainable Cities» считается «климат и энергетика», суть которого заключается в проекте сокращения выбросов парниковых газов, экономии энергии и увеличения доли использования возобновляемых источников энергии. [6]

На сегодняшний день smart-городами как Нью-Йорк, Бостон, Сингапур, Лондон и Торонто реализуется множество проектов направленных на улучшение экологической среды в рамках Smart city.

Таблица 1.3 – Проекты цифровых городов рамках Smart city

Smart city	Год запуска проекта	Цель проекта	Особенности проекта
Нью-Йорк	2015	уменьшить выбросы природного газа на 80%	возможность правительства и граждан определенных районов при помощи технологий проводить совместные работы и предлагать идеи по улучшению экологической ситуации района.

### Окончание Талицы 1.3

Smart city	Год запуска проекта	Цель проекта	Особенности проекта
Бостон	2018	смягчить влияние городов на климатические изменения	сбора информации о энергозатратах из разных городов США с последующем внедрением новых экологических технологий способных уменьшить затраты на электричество. Данный проект приведет к уменьшению затрат на электроэнергию и улучшит экологическую среду.
Сингапур	2018	улучшение экологической ситуации и снижения расходов на электроэнергию	посредством модернизации существующих зданий и строительство новых энергоэффективных зданий, потребляющих на 60% меньше энергии по сравнению с существовавшими ранее стандартами улучшить экологическую среду и уменьшить расходы на электроэнергию.
Лондон	2018	снижение выбросов в атмосферу и улучшение экологической ситуации	проект предполагает сокращение выбросов от строительной техники, создания пешеходных улиц и поддержке перехода на электромобили
Торонто	2018	помощь жителям с надлежащей сортировкой и удалением отходов	программа Waste Wizard – быстрый и удобный инструмент управления отходами, который разработан в рамках долгосрочной стратегии управления отходами города для поддержки целей повторного использования и экологии города. Данное приложение призывает максимально упростить для горожан участие в программах утилизации отходов.
Торонто	2018	сокращению выбросов парниковых газов и улучшению общего экологического состояния	Город в партнерстве с Enbridge Gas Distribution Inc начнет установку нового оборудования на объекте управления твердыми отходами. Данное оборудование поможет трансформировать сырой биогаз, произведенный в результате переработки органических веществ, в возобновляемый природный газ. В результате город сможет использовать возобновляемый газ для обслуживания муниципального транспорта, что значительно сократит расходы на топливо и уменьшит его углеродный след.

Улучшение экологической среды напрямую связано с благоприятной жизнью граждан, а внедрение инновационных технологий упростит и ускорит процесс совершенствования [19,24,95,96].

### 1.3 Умная среда мировая практика

«Концепция умного города с каждым годом приобретает все большую популярность, многие уже сложившиеся города подвергаются преобразованию своих городских пространств, тем самым создавая умную среду, другие города отстраиваются с нуля, в проектировании и строительстве которых сразу используется инновационный подход. Уже более 2500 мировых городов успели внедрить в некоторые сферы жизнедеятельности инновационные технологии, тем самым реализуя идеи концепции Умного города выражение которых происходит на архитектурно-планировочных решениях, информационных системах, среде, адаптированной под различные группы населения» [78].

Основная масса таких городов сконцентрирована в Европе и насчитывает более 240 городов, которые претендуют на статус умных. Разнообразные проекты в концепции Smart city находят применение в разных уголках планеты, к этому числу так же принадлежит и Россия. Нельзя сказать наверняка о количестве таких проектов, так как отсутствуют единые критерии оценки городов по критерию Smart. К существующим критериям относятся такие показатели как: социально-экономические показатели эффективности инноваций и степень обеспеченности инновационной и технологичной инфраструктурой.

«Мировой практикой обозначены три условные фазы становления умных городов, которые отражают смену ключевых технологий и типов осуществляемых проектов» [88]. Этапы развития концепции Smart city и их критерии представлены в таблице 1.4.

Умный город первой категории представляет из себя технологически ориентированный город. В интеллектуализационном процессе главную роль приходится на непосредственно самих поставщиков, предоставляющих интеллектуальных и технологические услуги. Внедрение IT-решений для управления и развития городских услуг происходит постепенно.

В умном городе второй категории значимую роль приобретает комплексное видение стратегического развития городских систем. Для подобных проектов

необходимо непосредственное сотрудничество городских властей и крупной технологической предприятий/компаний на специализированном рынке. На данной фазе происходит разработка и постепенное внедрение первичной цифровой инфраструктуры умного города. Умный город второй фазы характеризуется принципами внедрения технологий для улучшения качества жизни жителей города.

Умный город третьей категории выступает как город – это цифровая экосистема. Заинтересованные стороны задействованы в процессе принятия решений, заинтересованными сторонами в данном случае выступают: поставщики услуг, власти городского управления и жители города. Внедрение инновационных технологий происходит во всех сферах жизнедеятельности города, что позволяет в режиме реального времени реализовывать процесс управления во всех областях инфраструктуры [16,33,38,53].

Таблица 1.4 – Фазы становления умных городов [2,88]

Критерии	Умный город первой категории	Умный город второй категории	Умный город третьей категории
Характеристика этапа	Повышение эффективности управления городом. Сити-менеджеры получают доступ к интегрированным данным о состоянии сервисов, энергии и инфраструктуры в реальном времени На рынке доминируют крупные технологические компании	Развитие и управление городов на базе цифровых моделей инфраструктуры. Включение стартапов и МПС в рыночные сегменты Smart city.	Smart city как стратегия развития городов с общим видением. Вовлечение всех групп участников: частный сектор, сообщества, академическая среда, кластеры, власти, институты развития. Формирование устойчивых инновационных экосистем на базе ИКТ. Граждане получают ключевую роль в формировании облика городов и возможностей взаимодействия с городской средой.
Результаты	Была выделена архитектура для развертывания интеллектуальных систем и сервисов, внедрены технологии в пилотных проектах. В ЕС инвестировано 1 млрд. евро, но реальные задачи не были решены.		Разработаны пилотные платформы для доступа к открытым данным
Барьеры	Проекты были горизонтально изолированы. Вовлечение граждан было ограниченным.		Нехватка венчурного капитала Межведомственной корпорации. Нехватка реальных оценок проектов Smart city.

#### Окончание Таблицы 1.4

Критерии	Умный город первой категории	Умный город второй категории	Умный город третьей категории
Энергетика	Системы управления электроэнергией	Умные системы распределения электроэнергией (Smart Grid, Micro Grid, AMR)	Соединенные системы разделения и потребления электроэнергии (Connected Smart Grid Systems)
Сети и коммуникации	GIS – информирование. Каналы проводной наземной связи.	Умные сети, беспроводные точки доступа к сети Интернет, 3G/4G, оптические сети (wireless broadband service)	Семантические сети, объединенные данные. Открытые данные из разных источников для распознавания паттернов, генерации оповещений, визуализации информации, предсказательная аналитика (semantic web, predictive analytics).
Транспорт	Централизованные системы мониторинга и управления транспортом	Интеллектуальный транспорт (гибридные системы для транспорта) – автоматизированные системы управления трафиком	Связанный транспорт (возобновляемая энергия для транспорта) – беспилотное управление, автономное обслуживание
Хранение и обработка данных	Вертикально изолированные системы сбора данных на основе RFID-технологий	Интернет вещей: интеграция сенсорных и индикаторных технологий и стандартов и протоколов межмашинного взаимодействия. Компьютерные вычисления и аналитика	Повсеместное вычисление собранных данных (внедрение управляющих микропроцессоров в самых различных видах бытового и промышленного оборудования). Облачные вычисления, сенсорные сети в комбинации в Веб 2.0, социальными сетями, краудсорсинговые платформы для коллективных вычислений.
Электронные сервисы	Электронная оплата городских сервисов	Городские платформы сервисов	Стандартизация платформ городских сервисов на основе Интернета вещей
Развитие инфраструктуры	Устойчивое развитие инфраструктуры и зданий	Системы переработки и распределения отходов, «зеленые» здания, энергоэффективные здания	Интеллектуальные автоматизированные здания и инфраструктура

«Рассмотрим ряд городов различных стран планеты, внедривших концепцию развития городской среды Smart city.

Стокгольм (Швеция). Данный город занимает одну из лидирующих позиций

по получению и выработке возобновляемых ресурсов. Основной из главных направлений развития концепции города возобновляемая энергетика с использование сточных вод, она предназначена для совершенствования и оптимизации системы отопления. Кроме того, переработка на территории города ведется переработка сточных вод в сырье транспортной отрасли. Также на территории города модернизируется и совершенствуется озеленение городских пространств (парки, лесные зоны и пр.), нельзя не отметить развитую транспортную сеть в Стокгольме.

Барселона (Испания). Статус Smart city городу в Испании присвоили в 2015 году. Данный статус Барселоне присвоила компания Juniper Research, занимающаяся мобильными и информационными технологиями, Компания оценила развитие городских пространств на более высоком уровне развития аналогичных пространств в городе Нью-Йорке, городе Лондоне. Кроме того, Juniper Research провела аналитические исследования эффективности внедрения данной концепции с прогнозом на будущие периоды. Так по результатам исследования высшая оценка была присвоена системе, регулирующей транспортные потоки и паркинги. Большое внимание было уделено адаптивной системе освещения улиц. В умном городе большое внимание уделяют развитию социального обеспечения, городские инфраструктуры модернизируют под современные потребности человека, система самоуправления работают в интерактивном режиме, имеют удаленный доступ и настроены на максимальную экономию нерационального задействования ресурсов.

Вена (Австрия). Столица Австрии считается наиболее озелененным городом, в котором для озеленения задействовано большое количество крыш. Стоит отметить, что в Вене более 15% энергетического обеспечения поступает из возобновляемых источников. В их число таких источников входят электростанции, работающие на биомассе. Город имеет многочисленное количество пешеходных пространств, доступный транспорт и продуманную городскую структуру.



Амстердам (Нидерланды). Основной идеей в городе при создании умных пространств стало внедрение дружелюбной среды, разработкой проекта была основана на платформе Amsterdam Smart City. Рассматриваемая платформа позволяет оптимизировать процесс взаимодействия между властью, самоуправлениями и гражданами. В числе прочего данная платформа предусматривает разработку специального мобильного приложения, которое позволяет маломобильным категориям горожан пользоваться транспортными услугами. В Амстердаме также разработаны приложения, которые оповещают о пожарных ситуациях в городе и представляют полный перечень данных об объекте возгорания и количестве людей в нем.

Копенгаген (Дания). Город в Дании к 2025 года претендует на звание «нейтральной территории от выбросов». Для достижения результата поставлены жесткие рамки в области сертификации объектов строительства по «зеленым стандартам» и нормативной документации, регламентирующей вопросы энергоэффективности. В Копенгагене граждане используют датчики на велотранспорте, которые регистрируют уровень загрязнения.

Масдар (Объединённые Арабские Эмираты). Экспериментальный проект «умный город» в Эмиратах стартовал в 2006 году. Основной идеей создания города – является развитие промышленных компаний, которые занимаются экологически «дружелюбными» товарами. Масдар (зеленый город) практически не производит парниковых газов и обладает наименьшим уровнем выброса углерода в атмосферный воздух. Основным источником энергии является солнечная активность. Такая энергия добывается с помощью фотоэлементов оснащенных модулями с системой слежения за положением солнца. Еще на этапе строительства для минимизации негативного воздействия на окружающую среду были приняты такие меры как: замена обычного цемента гранулированным доменным шлаком (промышленные отходы), который чище на 60%. Изготовление самого цемента создает лишь 5% выбросов углекислого газа; повторное использование, переработка материалов; правильное избавление от отходов, не поддающихся переработке.

Для улучшения вентиляции города, улицы были ориентированы в направлении преобладающих ветров – 38 градусов против часовой стрелки Северной оси. По архитектурной задумке здания также расположены ближе друг к другу, для того что бы обеспечить больше затенения на уровне улицы.

Также в будущем предполагается, что граждане города будут потреблять примерно половину объема воды, по сравнению со средними показателями по Эмиратам для городов похожего размера. Люди, проживающие в городе, будут пользоваться высокоэффективными приборами и малоточными душами. Системы мониторинга, работающие в режиме реального времени и интеллектуальные счетчики, будут информировать граждан об их потреблении. Также, будет обеспечиваться высокоэффективное орошение и маловодное озеленение, особенно за счет использования местной пустынной флоры. Продукты жизнедеятельности найдут свое применение при наполнении почвы микроэлементами, так же могут быть сожжены для получения энергии. Отходы предприятий, подвергнуты рециркуляции и дальнейшему вторичному использованию. В городе не будет традиционного транспорта, его заменит личный Экспресс-Транзит – беспилотных электрический общественный транспорт, управляемый передовой навигационной системой» [78].

#### Выводы по первому разделу

Рост объема отходов жизнедеятельности людей и организаций их утилизации, недостаточность материальных ресурсов, ухудшение экологической обстановки, транспортный коллапс все эти проблемы современных городов обострил процесс урбанизации. Города неизбежно продолжают расти, а мощностей имеющихся инфраструктур недостаточно для поддержания благоприятной жизни горожан.

Разработка концепции Smart city является глобальным направлением по решению этих проблем. Концепция направлена на обеспечение современного и благополучного качества жизни людей за счет применения инновационных технологий.

«Существуют три условные фазы становления умных городов, которые отра-

жают смену ключевых технологий и типов осуществляемых проектов» [88].

«Более 2500 городов мира внедрили инновационные технологии и реализуют идеи Smart city выражая их на архитектурно-планировочных решениях, информационных системах, среде, адаптированной под различные группы населения. Только в Европе насчитывается более 240 городов, которые претендуют на статус умных» [78].

Выбор конкретной концепции Smart city во многом зависит от тех проблем, которые необходимо срочно решить именно в данном регионе или городе в связи с этим практически в каждой стране и городе подходы к внедрению Smart city являются универсальными и имеют существенные различия.

Направление деятельности Умная среда в концепции Smart city нацелено на решение проблем окружающей среды и экологической безопасности. Умный город предполагает благополучное существование граждан, а оно невозможно в городе с плохой экологической обстановкой, которая влияет на самочувствие и здоровье горожан. Особо значимое место в направлении Умная среда отводится проблеме загрязнения атмосферного воздуха. Основными источниками загрязнения являются промышленные предприятия и автотранспорт. Несмотря на внедрение, более чистых технологий в промышленности, производство энергии и транспорт, загрязнение воздуха остается серьезной угрозой для здоровья.

Такие города как Нью-Йорк, Бостон, Сингапур, Лондон и Торонто уже несколько лет успешно внедряют и реализуют современные и высокотехнологичные проекты, которые направлены на улучшение экологической обстановки в городах, в частности решение проблемы загрязнения атмосферного воздуха.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что мировая практика подтвердила важность развития направления Умная среда в задачи, которой входит поддержание хорошей экологической обстановки в городах, при помощи современных систем и технологий.

## 2 ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УМНАЯ СРЕДА В КОНЦЕПЦИИ SMART CITY

### 2.1 Система экологического мониторинга атмосферного воздуха

Научные исследования в области охраны окружающей среды сейчас сориентированы на снижение возможных отрицательных последствий того или иного вида хозяйственной деятельности, направлены на разработку эффективных методов очистки газовых выбросов и сточных вод, на обоснование норм допустимых воздействий на природные экосистемы. Среди таких исследований особое место занимают исследования по созданию и применению систем мониторинга воздушной среды [82].

Стационарные и передвижные источники в процессе своей деятельности загрязняют окружающую среду вредными выбросами, сбросами и физическими воздействиями. Экологический контроль за источниками загрязнения, а также постоянное отслеживание текущей ситуации в данном случае является необходимой мерой. Такой контроль берет основы на данных проведенного экологического мониторинга. Промышленными предприятиями, автотранспортом, а также другими источниками производятся выбросы и сбросы загрязняющих веществ, которые являются основными объектами экологического мониторинга, проводимого на территориях жилых и рекреационных зон, поверхности воды и почвы. Отобранные пробранные пробы систематически подвергаются исследованиям на концентрацию загрязнителей и анализируются в соответствии с допустимыми стандартами в специализированных лабораториях, учрежденных государственными органами власти [17,34].

Для установления степени загрязнения атмосферного воздуха всеми примесями, выбрасываемыми существующими и намечаемыми к строительству и пуску источниками, а также характер изменения полей концентрации примесей по территории и во времени разрабатываются электронные карты загрязнения воздуха, построенные по результатам, полученных со стационарных постов наблюдений за состоянием атмосферы и систем экологического мониторинга.

Мониторинг окружающей среды осуществляется в целях наблюдения за состоянием окружающей среды, обеспечения государственных органов, юридических лиц и граждан полной, достоверной и своевременной информацией, необходимой для управления и контроля в области охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов.

На сегодняшний день мониторинг является одним из основных частей любого проекта, поскольку отслеживание и оценка результатов не менее важна, чем результат реализации.

Мониторинг – это система долговременных наблюдений, оценки, контроля и прогноза состояния и изменения объектов. Обычно наблюдения ведутся за антропогенными изменениями окружающей природной среды на фоне ее естественных изменений с помощью авиационных, космических или стационарных средств наблюдения [43].

Существует три разновидности мониторинга: региональных, глобальный и местный. Они относятся к атмосфере, гидросфере, почве и конкретным источникам загрязнения.

Контроль и мониторинг за загрязнением территории городских пространств стационарными источниками ведется тщательно. Такие стационарные источники обычно сосредоточены в определенной производственной зоне, но некоторые из таких источников все же размещены в жилых территориях. Учет, контроль и мониторинг таких предприятий ведется территориальными органами Министерства природных ресурсов Российской Федерации, экологический контроль таких источников ведется на двух уровнях – муниципальный и государственный.

Мониторинг осуществляется по принципам:

- объективность информации. Процесс мониторинга опирается на объективные данные, полученные в ходе информационного обмена. Получаемые данные максимально формализованы и легко проверяемы;
- сравнимость данных. Сравнение изменений одного и того же объекта на основе одинаковых эмпирических показателей;

– адекватность информации. Оценка влияния внешних факторов на процесс производства с учетом их изменения;

– прогнозируемость. Процесс мониторинга строится на данных, которые позволяют прогнозировать будущее состояние системы, изменения в способах достижения цели и оценку возможных тенденций.

– целевое назначение [73,105].

Экологическим мониторингом считается, государственная или международная система наблюдения, контроля за состоянием окружающей природной среды и ее отдельных объектов, за ее изменением в процессе хозяйственного развития общества; обобщения, сбора и передачи информации о реальных или ожидаемых вредных последствиях изменений окружающей природной среды для принятия соответствующих мер экологической защиты [11].

В Российской Федерации экологический мониторинг – это комплекс выполняемых по научно обоснованным программам наблюдений, оценок, прогнозов и разрабатываемых на их основе рекомендаций, и вариантов управленческих решений, необходимых и достаточных для обеспечения управления состоянием окружающей природной среды и экологической безопасности.

Основные цели экологического мониторинга заключаются в обеспечении системы управления природоохранной деятельности, а также в своевременной и достоверной информации, которая позволяет:

– оценить показатели состояния и функциональной целостности экосистем;

– выявить причины изменения этих показателей и оценить последствия таких изменений, а также определить корректирующие меры в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются;

– создать предпосылки для определения мер по исправлению создающихся негативных ситуаций до того, как будет нанесен ущерб.

Учитывая заданные цели основными задачами экологического мониторинга являются:

– наблюдение за источниками и факторами антропогенного воздействия, за со-

стоянием природной среды и происходящими в ней процессами под влиянием факторов антропогенного воздействия;

– оценка фактического состояния природной среды, прогноз изменения состояния природной среды под влиянием факторов антропогенного воздействия и оценка прогнозируемого состояния природной среды [107].

Схематичное изображение системы экологического мониторинга представлено на рисунке 2.1

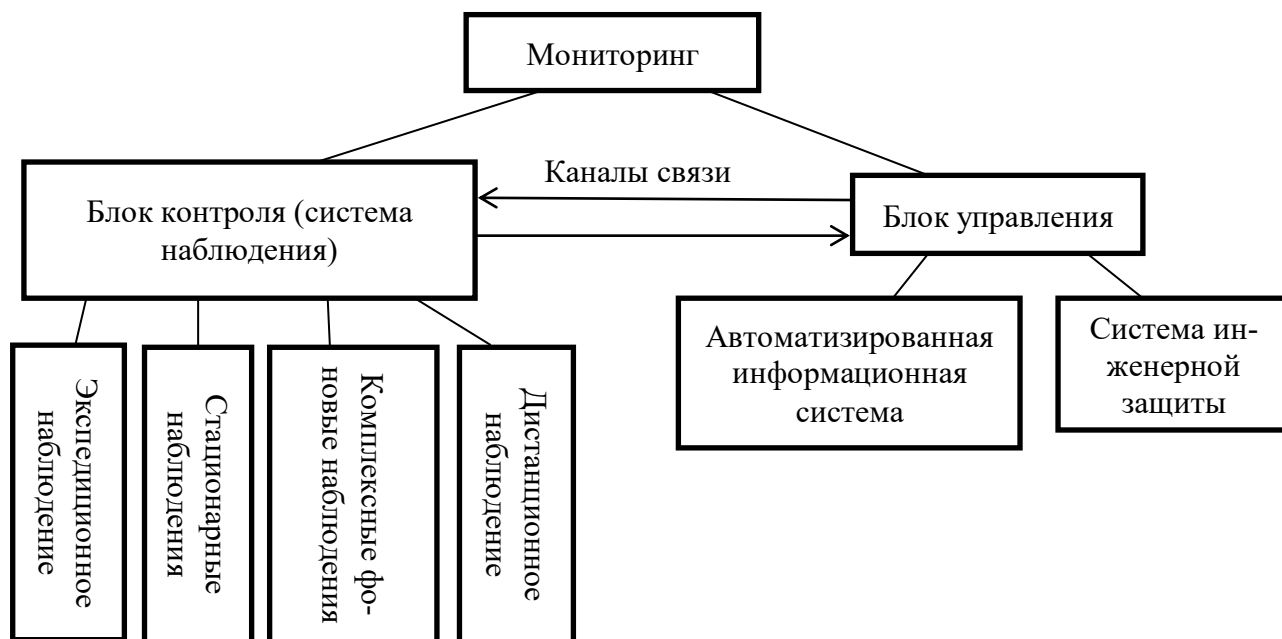


Рисунок 2.1 – Схематичное изображение системы экологического мониторинга в общем виде

Так, исходя из представленного на рисунке 2.1 изображения можно сделать следующие выводы о структуре системы экологического мониторинга.

1. «Основными блоками рассматриваемой схемы являются: система пунктов получения информации и управленческие и прогнозное-динамические центры, взаимосвязь которых происходит посредством каналов передач информации.

2. Важность в представленной схеме играют такие структурные элементы как: системы объектов мониторинга, в данном случае рассматривается воздушное пространство, наземное пространство и др. пространственные территории, кроме того важность представляет системы производственных работ, которые непосредственно составляют производственную базу экологического мониторинга, в дан-

ном аспекте речь идет о проводимых работах и их видах, которые задействованы при организации проведения экологического мониторинга. Структурный элемент, который обозначен как система научно-методических разработок в данном механизме представляет важность с точки зрения того, что ведется разработка всего комплекса методик, которые используются в мониторинге при планировании, организации и функционировании, а также проведения производственных работ в данной сфере, анализе и получении оценки результатов полученных от наблюдений, прогноз и выдача управленческих решений. Техническое обеспечение в системе, т.е. используемые оборудования, технологии и аппаратура, в том числе датчики, индикаторы, лабораторные инструменты, компьютерное оборудование, средства связи и другие)

Исследования, проведенные в научной сфере в области охраны окружающей среды на данном этапе сконцентрированы уменьшение возможных негативных последствий, которые могут произойти в процессе хозяйственной деятельности предприятий или других источников, данные исследования имеют направленность на разработку и выявление эффективных методов очистки токсичных, вредных выбросов и сточных вод, кроме того на обоснование допустимых норм воздействия на природные экологические системы. Особое место среди таких исследований отводится исследованиям в области создания и применения систем экологического мониторинга атмосферного воздуха» [22].

Это необходимо для того, чтобы иметь возможность устанавливать степень загрязнения воздушного бассейна всевозможными примесями, которые вырабатываются в процессе деятельности существующих источников-загрязнителей и аналогичных источников, которые собираются ввести в эксплуатацию. Необходимость определения характера изменения зон, в которых сконцентрированы примеси на рассматриваемой территории и в текущем времени ведется разработка электронных карт качества воздушной среды, которые строятся на основании полученных результатов от стационарных постов наблюдения за состоянием атмосферного воздуха и общей системы экологического мониторинга.



«В системе экологического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха выделяются основные процедуры, такие как:

- выявление объекта, за которым ведется контроль;
- обследование выявленного подконтрольного объекта;
- составление информационной модели подконтрольного объекта;
- составление планов измерений;
- оценка состояния подконтрольного объекта и идентификация его составленной информационной модели;
- прогноз возможных изменений состояния подконтрольного объекта;
- представление информации и доведение ее до конечного потребителя.

Информация полученная в результате экологического мониторинга поступает в центральный диспетчерский пункт, который в свою очередь производит: сбор, анализ и хранение информации о трансграничном переносе примесей в атмосфере; прогнозирование переноса примесей на основе метеорологических данных; идентификацию районов выбросов и источников; регистрацию и растёт выпадений примесей из атмосферного воздуха на подстилающую поверхность и другие работы» [22].

Основной документ, который определяет и регулирует природоохранительную деятельность в Российской Федерации, является закон «Об охране окружающей природной среды».

Наблюдательная сеть представляет под собой систему стационарных и подвижных пунктов наблюдений, в том числе постов, станций, лабораторий, центров, бюро, обсерваторий, предназначенных для наблюдения за физическими и химическими процессами, происходящими в окружающей среде, определения ее характеристик, а также для определения уровня загрязнения атмосферного воздуха, почв, водных объектов и околоземельного пространства. Согласно указанному документу, организация и функционирование ведомственной наблюдательной сети производится с соблюдением основных принципов деятельности гидрометеорологической службы, а именно:

- репрезентативность пунктов наблюдений;
- единство и сопоставимость методов наблюдений, обработки и обобщения результатов наблюдений;
- обеспечение достоверности получаемых результатов и доступности информации для пользователей.

Свою деятельность ведомственные стационарные и подвижные пункты наблюдений осуществляют на основании лицензий Росгидромета.

Основные преимущества автоматизированной системы экологического мониторинга атмосферного воздуха считаются:

- возможность эффективного получения данных о сконцентрированных выбросах и определение их источника (в существующих системах мониторинга, для получения такой информации необходимо несколько дней). Такая оперативность достигается при помощи автоматических многокомпонентных газоанализаторов, которые имеют дистанционное управление и могут передавать информацию в более короткое время;
- возможность при помощи задействованных в мониторинге приборов измерения в непрерывном режиме измерять и регистрировать текущий уровень загрязнения и отдельных загрязняющих источников;
- определение точности момента аномальных залповых выбросов, в которых сконцентрированы загрязняющие вещества, при помощи инновационной системы контроля;
- полученная таким образом информация о влиянии выбросов предприятиями на качество атмосферного воздуха будет считаться достоверной, в связи с тем, что показатели, определяемые на специализированных станциях контроля, имеют арбитражную силу, и на основании этого могут быть использованы в качестве аргумента в случае, возникновения разногласий между предприятиями и органами ответственными за охрану окружающей среды [101].

На территории Челябинской области с 19 января 2017 года функционирует областное государственное казенное учреждение «Центр экологического монито-

ринга Челябинской области» целью которого является исполнение полномочий Челябинской области в сфере экологического мониторинга. В рамках своих полномочий учреждение осуществляет следующие виды деятельности:

- оценка и качество окружающей среды;
- участие в порядке, установленном нормативно правовыми актами Российской Федерации, в осуществлении государственного экологического мониторинга;
- введение системы сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха городов Челябинской области, участие в организации и проведении государственного мониторинга атмосферного воздуха;
- аналитическая поддержка регионального государственного экологического надзора, осуществляемого Министерством экологии Челябинской области;
- участие в соответствии с Федеральным законом от 26 декабря 2008 года № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля в проведении мероприятий по контролю при привлечении ОГКУ «ЦЭМ» органами, уполномоченными на осуществление экологического надзора, к проведению мероприятий по контролю;
- инструментальный контроль состояния окружающей среды в плановом порядке и по жалобам населения;
- определение источника загрязнения при выявлении превышений предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в природных средах;
- участие в определении размера вреда окружающей среде, причиненного в результате нарушения законодательства в области охраны окружающей среды;
- обеспечение достоверной и объективной информацией о состоянии и охране окружающей среды, о негативном воздействии источников загрязнения на окружающую среду на территории Челябинской области органов государственной власти Челябинской области, органов местного самоуправления Челябинской области; доведение указанной информации до сведения юридических и физических

лиц;

– осуществление экологического просвещения в целях формирования экологической культуры на территории Челябинской области.

Помимо экологического контроля за уровнем загрязнения и состоянием окружающей среды ведет контроль государственный санитарно-эпидемиологический центр. Такой надзор указанным органом ведется за:

– водными источниками, которые ежедневно используются в хозяйственной деятельности, питьевой, купание, в местах отдыха населения и пр.;

– атмосферным воздухом на территории жилых районов и санитарно-защищенных зон [83].

## 2.2 Применение системы экологического мониторинга для улучшения экологической среды

Обеспечение экологической безопасности на сегодняшний день является основной целью, задачей и направлением по переходу к цифровой экономике. Smart city – это неизбежно экологически устойчивый город.

Приоритетом для перехода к цифровому управлению экологическими процессами остается создание интеллектуальной комплексной информационной системы для мониторинга, прогнозирования, предупреждения и ликвидации возможных угроз. В данном случае речь идет о принципиально новой системе оперативного реагирования на любые изменения экологической обстановки с учетом реализации экосистемного подхода. В основе, которой должна лежать цифровая платформа, способная принимать большие потоки данных от различных информационно-коммуникационных систем, структурировать их и надежно сохранять, позволяющая производить обработку информации в реальном времени, проводить многофакторный анализ и инициировать оперативное реагирование, а самое главное, с высокой степенью вероятности предупреждать об экологических рисках. Создание такой системы сегодня возможно только при участии специалистов, об-

ладающих компетенциями как предметных областей по категориям риска, так и средств интеллектуального управления [37,64,63].

Во всем мире в рамках концепции Smart city для улучшения экологической среды начали свою реализацию многочисленные проекты.

Австралия, город Сидней: Мониторинг состояния городской атмосферы. Данная система мониторинга, является пилотным проектом по измерению загрязнения воздуха в области Hunter Valley. В рамках проекта установили 14 датчиков, которые круглосуточно собирают данные о состоянии воздуха. Датчики собирают данные, на основании которых специальный алгоритм вычисляет индекс качества воздуха. поэтому индексу можно прогнозировать уровень загрязнения атмосферного воздуха в разных частях штата. Информация, получаемая с датчиков, находится в открытом доступе, как для администрации города, так и для горожан.

Испания, Саламанка. Мониторинг состояния окружающей среды. В мониторинге используется широкая сеть датчиков качества атмосферного воздуха для экологически чистого городского управления трафиком. Данный проект финансируется Европейским союзом в рамках программы LIFE. Основной целью проекта является обеспечение устойчивого управления трафиком в городе с использованием двух ключевых элементов:

- повсеместная сеть датчиков качества атмосферного воздуха;
- модель прогнозирования.

Индия. Мониторинг окружающей среды осуществляется при помощи датчиков Polludronc. Используемые датчики, считаются недорогим решением для контроля качества атмосферного воздуха с встроенными и дополнительными возможностями солнечной энергии. При помощи точных сенсорных систем возможно получение непрерывного потока данных о состоянии воздуха, с последующим интеллектуальным отчетом собранной информации [36,65].

В России в рамках концепции Smart city начали свою реализацию проекты:

- «МегаФон» платформа экологического мониторинга на базе IoT.

Платформа, разрабатываемая компанией предназначена для осуществления

мониторинга экологической обстановки в автоматическом режиме, которая представляет собой комплекс датчиков, объединённых локальной сетью с серверами управления, рабочими местами специалистов и контрольными постами соответствующих служб, реализованное на базе собственной платформы сбора данных промышленного интернета вещей.

Разрабатываемый продукт компании предоставляет возможность руководству промышленных предприятий производить контроль выбросов в атмосферный воздух на территории своих объектов в целях реализации требований действующего законодательства. У региональных органы государственной власти появится возможность в режиме реального времени проводить анализ качества атмосферного воздуха на собственной территории и близлежащих территориях. Также, цифровую платформу экологического мониторинга, возможно использовать и в качестве решения по контролю микроклимата закрытых помещений, обеспечивая соблюдение санитарно-эпидемиологических правил и норм.

Особенности новой цифровой платформы предлагаемой компанией МегаФона:

- разнообразие вариантов визуализации собираемых данных;
- оперативное отображение контекстной информации;
- постановка на охрану потенциально опасных объектов
- возможность получать и аккумулировать видеопотоки с камер наблюдения;
- оповещение ответственных специалистов;
- решение ряда других задач.

Все эти возможности позволяют своевременно выявлять экологические инциденты, предотвращать аварийные ситуации, оперативно реагировать на изменения качества компонентов окружающей среды и, как следствие, минимизировать затраты на ликвидацию последствий.

К ключевым особенностям платформы относят:

- надотраслевой функционал;
- распределенная архитектура;

- работа с большими данными;
- глубокая аналитика;
- гибкость и масштабируемость;
- кибербезопасность.

Функции платформы включают:

- кросс-передача данных;
- визуализация данных;
- поддержка принятых решений;
- работа с отчетностью;
- отслеживание ключевых показателей эффективности;
- передача данных вышестоящей системе;
- интеграции устройств и систем.
- GOST Система экологического мониторинга.

«GOST Система экологического мониторинга – это автоматизированная система осуществляющая сбор, хранение, анализ актуальных данных об экологической обстановке в регионе для органов государственной власти и населения» [22].

Преимущества данного проекта представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Преимущества проекта «GOST Система экологического мониторинга»

Мониторинг	<ul style="list-style-type: none"> <li>– сбор, обработка, оперативный анализ и визуализация данных от стационарных и передвижных станций контроля;</li> <li>– учет 10 видов экологического мониторинга (воздух, вода, зеленые насаждения, промышленные выбросы и другие) и более 170 параметров состояния окружающей среды;</li> <li>– система наблюдения за интенсивностью UV-излучения;</li> <li>– интеграция с данными метеослужб и учет влияния на экологическую обстановку в регионе погодных факторов (температура, скорость и направление ветра, концентрация химических веществ и другие).</li> </ul>
Аналитика и отчетность	<ul style="list-style-type: none"> <li>– всесторонний анализ экологической ситуации в регионе и построение карт состояния различных сред;</li> <li>– подготовка отчетов для органов госуправления и ответственных служб.</li> <li>– услуги для населения и организаций:</li> <li>– возможность оповещения населения и экстренных служб при возникновении внештатных экологических ситуаций в регионе;</li> <li>– прием и обработка жалоб от населения;</li> <li>– выдача предприятиям разрешений на выбросы и ведение документации по выбросам в электронной форме.</li> </ul>

В результате внедрения данной стратегии планируется достигнуть следующий эффект:

- удобная информационная база для государственного контроля предприятий-загрязнителей и внедрения экономических механизмов охраны окружающей среды;
- контроль за развитием и состоянием экологической инфраструктуры города;
- формирование экологического рейтинга районов;
- сокращение времени реагирования на жалобы населения, проверки объектов и назначения штрафов;
- создание единой базы природопользователей с электронным ведением документации;
- оптимизация бюджета региона в области охраны окружающей среды, контроль нарушения условий государственных контрактов и рекомендации по применению штрафов;
- сокращение времени принятия управленческих решений. [1]

Данные системы экологического мониторинга отвечают всем характеристикам «Smart city». При внедрении разработанной системы мониторинга улучшится качество и эффективность отслеживания состояния атмосферного воздуха не только административными органами, но и частными лицами. В особенности благополучный расклад от внедрения принесет регионом с повышенным загрязнением окружающей среды, в том числе и атмосферного воздуха. Так как, Челябинская область относится к регионам повышенного загрязнения, внедрении данной системы является необходимой мерой [66,68,86,106].

### 2.3 Математические методы расчета эффективности внедрения системы экологического мониторинга в концепции Smart cities

Одним из математических методов выявления эффективности от внедрения системы экологического мониторинга является экспертная оценка: метод ранговой корреляции.



Научный подход к обоснованию принимаемых решений считается гарантией успехов в принятии управленческих решений, в случае если проводится глубокий анализ поставленных проблем на основе объективных данных с использованием различных методов принятия решений. Использование не только личных знаний, опыта и интуиции, но и опыт специалистов, экспертов при анализе данных в возникшей ситуации. Решение сложных, комплексных задач в условиях неопределенности и не полноты информации, в сложных ситуациях происходит посредством логико-эвристического анализа на основе экспертного оценивания, которое осуществляют компетентные в данной области эксперты. Экспертные оценки не дают решения поставленной задачи, они представляют информацию, необходимую для обоснования решения [25,32,56].

Использование рангового метода обусловлено природой данных, которые являются результатами экспертных оценок.

Коэффициент Спирмена или коэффициентом корреляции Кендалла используется для оценки согласованности мнений двух экспертов при их оценке ряда признаков.

В том случае если количество экспертов больше двух, используется дисперсионный коэффициент конкордации, который выражается формулой:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)}, \quad (2.1)$$

$$\text{где } S = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^m R_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2, \quad (2.2)$$

$W$  – коэффициент конкордации;

$S$  – сумма рангов;

$n$  – количество объектов, рассматриваемых в анализе;

$m$  – количество привлеченных экспертов;

$R_{ij}$  – ранг  $j$ -го ряда объекта, который присвоен ему  $i$ -ым экспертом.

Дисперсионный коэффициент конкордации рассчитывают по матрице ранжировок  $n$  объектов группой из  $m$  экспертов, где  $r_{ij}$  – ранг, присвоенный ему  $j$ -ым экспертом  $i$ -ому объекту.

Коэффициенту конкордации присуще существование в пределах от 0 до 1. Ес-

ли мнения привлеченных экспертов являются абсолютно противоположными, коэффициент конкордации будет иметь значение 0.

В случае присутствия в выборке связанных рангов формула (2.1) будет иметь следующий вид:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j'} \quad (2.3)$$

$$T = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k), \quad (2.4)$$

$$S = \sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^m r_{ij} - \bar{r})^2, \quad (2.5)$$

где  $T_j$  – показатель связанных рангов,  $j$ -ой ранжировке;

$H_j$  – число групп равных рангов в  $j$ -ой ранжировке;

$h_k$  – число равных рангов в  $k$ -ой группе связанных рангов при ранжировке  $j$ -ым экспертом;

$n$  – количество объектов используемых в анализе,

$m$  – количество привлеченных экспертов,

$r_{ij}$  – ранг, присвоенный  $j$ -ым экспертом  $i$ -ому объекту;

$\bar{r}$  – средний ранг, который рассчитывается по формуле:

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i, \quad (2.6)$$

В случаях, когда коэффициент конкордации принимает значение 1, то все ранжировки экспертов считаются одинаковыми, а в случае если ранжировки имеют разногласия или совпадения отсутствуют вообще, то коэффициент конкордации принимает значение 0.

Мнения привлеченных экспертов будут считаться согласованными в том случае если показатель  $W > 0,6$ .

В том случае, когда  $W < 0,6$ , проводится анализ полученных ответов на согласованность мнений привлеченных экспертов, после выявляют дополнительные факторы, которые имеют необходимость быть учтенными экспертами, выявляют экспертов, чье мнение имело большее разногласие с остальными.

Следующий математический метод используемый при расчете эффективности внедрения системы экологического мониторинга – корреляционный и регресси-

онный анализ.

Связь между случайными переменными, и оценка тесноты таких связей определяется при помощи метода корреляционного анализа, а установление формы и изучение зависимости между анализируемыми переменными определена в рамках задачи регрессионного анализа [97].

В общем случае две величины могут быть связаны функциональной зависимостью, либо зависимостью другого рода, называемой корреляционной (статистической).

Функциональная зависимость – это зависимость, если данному значению одной величины соответствует вполне определенное значение другой.

Корреляционная зависимость – это зависимость, если данному значению одной величины соответствует множество значений другой величины.

По результатам наблюдения строится график рассеивания, который дает простую иллюстрацию парных сравнений. Из графиков видно, что в одних случаях трудно говорить о какой-либо зависимости. Поэтому возникает потребность в количественном измерении корреляции. Одним из способов является вычисление коэффициента корреляции [62,77].

Коэффициент корреляции представляет собой численное значение, которое показывает степень зависимости переменных друг от друга, данный коэффициент рассчитывается по следующей формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.7)$$

где,  $x_i$  – значения, принимаемые в выборке  $X$ ;

$y_i$  – значения, принимаемые по выборке  $Y$ ;

$\bar{x}$  – среднее значение по  $X$ ,  $\bar{y}$  – среднее значение по  $Y$ .

При расчете коэффициента корреляции за основу берется предположение о том, что переменные  $X$  и  $Y$  имеют нормальное распределение.

Величина коэффициента линейной корреляции не может превышать +1 и быть меньше -1. Эти два числа +1 и -1 – являются границами для коэффициента корреляции.

ляции.

К особенностям коэффициента корреляции можно отнести:

- $r$  – считается безразмерной величиной;
- $r$  – данная величина должна находиться в интервале от  $-1$  до  $+1$ ;
- если  $r = \pm 1$ , то, следовательно, точки имеют прямое расположение, в этом случае, зависимость между факторами будет являться функциональной;
- при  $r = 0$ , принято полагать об отсутствии связи;
- в случае, когда,  $r \geq 0,7$ , связь является сильной и факторы тесно связаны между собой;
- когда коэффициент корреляции находится в пределах  $0,5 \leq r \leq 0,69$ , то связь описывается как средняя;
- когда коэффициент корреляции находится в пределах  $0,3 \leq r \leq 0,49$ , связь будет иметь значение умеренной;
- когда коэффициент корреляции находится в пределах  $r \leq 0,69$ , связь расценивается как слабая.

Полученное значение коэффициента корреляции очень важен для интерпретации рассматриваемой связи. В тех случаях, когда знак коэффициента корреляции имеет положительно значение, то зависимость считается пропорциональной. При отрицательном значении коэффициента связь считается обратно пропорциональной.

Коэффициент детерминации – это квадрат коэффициента корреляции, который рассчитывается по формуле:

$$D = R^2, \quad (2.8)$$

где  $D$  – коэффициент детерминации;

$R^2$  – коэффициент корреляции.

Долю вариативности одного признака на другой вариативный признак показывает коэффициент детерминации. По полученному значению коэффициента детерминации следует рассуждать о силе связи между рассматриваемыми признаками, которую можно рассматривать при значении коэффициента детерминации

больше или равном 0,7. В таблице 2.2 представлены интервалы значений для коэффициента детерминации.

Таблица 2.2 – Интервалы значений для коэффициента детерминации

Значение коэффициента корреляции	Значение коэффициента детерминации	Доля вариации одного признака объясняющая вариацию другого
$r = 0,3$	$D = 0,09$	10%
$r = 0,5$	$D = 0,25$	25%
$r = 0,7$	$D = 0,49$	50%
$r = 0,9$	$D = 0,81$	81%

Регрессионный анализ – метод определения связи между вариационными признаками.

Эмпирические регрессии выражаются простыми уравнениями регрессии, а в случае взаимосвязи между двумя (или более) переменными, когда нет постоянного коэффициента изменения между ними криволинейной регрессией.

Методы системной динамики в первые были разработаны в 1960-х годах Дж. Форрестром их применение было направлено на решение задач моделирования динамики города. На основе этих работ были выявлены основные закономерности в развитии города как сложной системы со своими обратными связями на уровне различных взаимодействующих подсистем. В последующем методы системной динамики были применены и для реализации концепции Умный город, а также представлена модель рационального управления регионом с выделением ключевых управляющих параметров в области жилищного строительства, здравоохранения, образования и др., и их влияние на макроэкономические показатели региона.

Но модели системной динамики не учитывают некоторых особенностей города как сложной децентрализованной системы, которая имеет множественные субъекты управления и связанные с ними людские потоки. В результате чего трудно прогнозировать потребности в развитии соответствующих инфраструктурных объектов, требуемых для удовлетворения потребностей города. Для решения сложившейся проблемы необходимо также применение методов агентного моделирования, особенностью которого является ориентация на построение децентрализованных и дезагрегированных систем с индивидуальными правилами

поведения для всех экономических агентов.

В региональном моделировании активно начало свое развитие направление в области устойчивого развития эколого-экономических систем. Особенность эколого-экономического развития заключается в изучении долгосрочной динамики социально-экономической системы с учетом взаимодействия ключевых экономических агентов (предприятия, которые являются основными источниками выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух; автотранспорт; население; государство, которое выполняет регулирующие функции) и окружающей среды.

В эколого-экономической системе существует сложность определения наилучших сценариев долгосрочного развития за счет наличия внутренних нелинейных множественных обратных связей, которые имеют как балансирующий, так и усиливающий характер (выбросы предприятиями загрязняющих веществ в воздушный бассейн недостаточно контролируемые государством и пр.), это приводит к возникновению трудно прогнозируемого мультипликативного эффекта.

Для решения поиска сценариев долгосрочного развития сложной эколого-экономической системы необходимо использование метода системной динамики и агатного моделирования [12,45,59].

Под имитационным моделированием следует понимать распространенную разновидность аналогового моделирования, которая реализуемого при помощи набора различных математических инструментальных средств, специальных имитирующих компьютерных программ и технологий программирования, позволяющих посредством процессов-аналогов провести целенаправленное исследование структуры и функций реального сложного процесса в памяти компьютера в режиме «имитации», выполнить оптимизацию некоторых его параметров.

Имитационная модель – специальный программный комплекс, который позволяют имитировать деятельность какого-либо сложного объекта. Он запускает в компьютере параллельные взаимодействующие вычислительные процессы, которые являются по своим временным параметрам (с точностью до масштабов времени и пространства) аналогами исследуемых процессов [30].

Таким образом, можно считать, что имитация — это компьютерный эксперимент. В данном случае обличительной особенностью такого вида эксперимента от реально выполняемого, считается, что такой эксперимент проводится именно с моделью системы, а не с самой системой. Для некоторых случаев имитация является единственным способом исследования систем без проведения реальных экспериментов [47].

Часто возникают такие ситуации, когда для принятия управленческих решений необходимо понимать, как поведут себя различные признаки и какое влияние они могут оказать на конечный результат, более распространенная проблематика в этой области присуща для оценки риска инвестиционных проектов, в данном случае, принято использовать прогнозные данные об объемах продаж, затратах, ценах и другие.

Но также следует понимать, что для более точного представления оценки риска предприятию или организации необходимо располагать большим объемом информации, только в этом случае полученные выводы от проведенного анализа смогут подтвердить правдоподобность гипотез о вероятностных распределениях значимых показателей выбранного инвестиционного проекта. Данные, которые не удалось получить фактически в анализе будут генерироваться путем проводимого имитационного эксперимента.

Поведение некоторых случайных величин не всегда подвластно управленческим решениям, поэтому при решении подобных задач используется смоделированные показатели. Такого рода модели в математической теории называются стохастическими. Применение имитации позволяет сделать выводы о возможных результатах, основанные на вероятностных распределениях случайных факторов (величин). Стохастическую имитацию часто называют методом Монте-Карло.

Метод Монте-Карло представляет собой совокупность формальных процедур, посредством которых воссоздаются любые случайные факторы (случайные события, случайные величины с произвольным распределением и т.п.). Влияние случайных факторов на систему моделируется с помощью случайных чисел. Получе-

ние выборок по методу Монте-Карло является основным принципом имитационного моделирования систем со стохастическими (вероятностными) элементами.

Для проведения имитационного моделирования понадобится расчет следующих статистических показателей:

– вероятность ( $p$ ) события  $A$  – отношения числа  $K$  случаев благоприятных исходов, к общему числу всех возможных исходов  $M$ , рассчитывается по формуле:

$$p(A) = \frac{K}{M}, \quad (2.9)$$

где,  $K$  – число благоприятствующих событию  $A$  исходов,  $M$  – число всех элементарных равновозможных исходов в эксперименте.

Вероятность наступления события может быть определена объективным или субъективным методом [58].

Объективный метод определения вероятности основан на вычислении частоты, с которой происходит данное событие.

– размах вариации ( $R$ ) – разница между максимальным и минимальным значением фактора

$$R = x_{max} - x_{min}, \quad (2.10)$$

где,  $x_{max}$  – максимальное значение фактора,  $x_{min}$  – минимальное значение фактора.

Этот показатель дает очень грубую оценку риску, т.к. он является абсолютным показателем и зависит только от крайних значений ряда [70].

Случайная величина,  $X$  – числовая функция, заданная на множестве элементарных событий.

Случайную величину с конечной или счетной совокупностью возможных значений называют дискретной. Возможные значения случайной величины обозначены латинскими буквами:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 x_2 x_3 \dots x_n \\ p_1 p_2 p_3 \dots p_n \end{pmatrix}, P\{X = x_i\} = p_i, \quad (2.11)$$



Здесь  $X$  – случайная величина,  $x_1x_2x_3\dots x_n$  – возможные значения. Совокупность возможных значений и соответствующие им вероятности  $p_1p_2p_3\dots p_n$  называют законом распределения вероятностей дискретной случайной величины.

Математическим ожиданием дискретной случайной величины,  $M(X)$  – в математической теории считается сумма произведений всех ее возможных значений на их вероятность. Математическое ожидание дискретной случайной величины рассчитывается по формуле:

$$M(X) = x_1p_1 + x_2p_2 + \dots + x_np_n = \sum_i p_i x_i = a, \quad (2.12)$$

где,  $a$  – краткое обозначение математического ожидания случайной величины. если число значений случайной величины конечно. Если число значений случайной величины счетно, то

$$M(X) = \sum_{j=i}^{\infty} p_j x_j. \quad (2.13)$$

При этом, если ряд в правой части равенства расходится, то говорят, что случайная величина  $X$  не имеет математического ожидания.

Основные свойства математического ожидания:

- математическое ожидание константы равно этой константе,  $Mc=c$ ;
- математическое ожидание — линейный функционал на пространстве случайных величин, т.е. для любых двух случайных величин  $X$  и произвольных постоянных  $a$  и  $b$  справедливо:  $M(aX+b_n)=aM(X)+bM(n)$ ;

- математическое ожидание произведения двух независимых случайных величин равно произведению их математических ожиданий, т.е.  $M(Xn)=M(X)M(n)$ .

- дисперсия (рассеяние) случайной величины,  $D(X)$  – это математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания:

$$D(X) = M[X - M(\bar{X})]^2 = M(X^2) - (M(\bar{X}))^2, \quad (2.14)$$

Среднее квадратичное отклонение случайной величины  $X$ ,  $\sigma(X)$  – это квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}, \quad (2.15)$$

Основные свойства дисперсии:

- дисперсия любой случайной величины неотрицательна,  $D(X) \geq 0$ ;
- дисперсия константы равна нулю,  $D(X) = 0$ ;
- для произвольной константы  $D(cX) = c^2 D(X)$ ;
- дисперсия суммы двух независимых случайных величин равна сумме их дисперсий:  $D(X \pm n) = D(X) + D(n)$ .

Использование дисперсии как меры риска не всегда удобно, т.к. размерность ее равна квадрату единицы измерения случайной величины.

На практике результаты анализа более наглядны, если показатель разброса случайной величины выражен в тех же единицах измерения, что и сама случайная величина. Для этих целей используют  $\sigma(X)$ .

Все вышеперечисленные показатели обладают одним общим недостатком — это абсолютные показатели, значения которых определяют абсолютные значения исходного фактора. Гораздо удобнее использовать коэффициент вариации ( $V$ ):

$$V = \sigma(X)/M, \quad (2.16)$$

При существенных различиях вредней величины события, считающегося случайным определение  $V$  особенно наглядно.

В проведении рискованной оценки финансовых активов необходимо сказать о следующем:

1. Рассмотрение рентабельности в качестве базисного в случае сравнительном анализе финансовых активов необходимо, т.к. доходные значения в абсолютной форме могут иметь существенное варьирование.

2. Дисперсия и среднее квадратическое отклонение рассматриваются как основные показатели, в связи с тем, что в качестве основы взятой для расчета таких показателей берется рентабельность, текущий критерий считается относительным и сопоставимый для различных видов активов, в следствии чего отсутствует необходимость производить расчет коэффициента вариации.

3. В некоторых случаях в научной литературе указанные формулы рассматриваются без учёта взвешивания на вероятности. Тогда, они могут быть использованы только для ретроспективного анализа [74,75].

«Наиболее частым и простым методом на применения на практике считается метод корректировки нормы дисконта с учетом риска краткое обозначение RAD. Основная идея метода заключается в корректировке некоторой базовой нормы дисконта, которая считается безрисковой или минимально приемлемой (например, ставка доходности по государственным ценным бумагам, предельная или средняя стоимость капитала для фирмы). Корректировка осуществляется путем прибавления величины требуемой премии за риск, после чего производится расчет критериев эффективности инвестиционного проекта — NPV, IRR, PI по вновь полученной таким образом норме. Решение принимается согласно правилу выбранного критерия.

В общем случае чем больше риск, ассоциируемый с проектом, тем выше должна быть величина премии, которая может определяться по внутрифирменным процедурам, экспертным путем или по формальным методикам.

Как уже отмечалось выше главные достоинства этого метода — в простоте расчетов, которые могут выполнены с использованием даже обыкновенного калькулятора, а также в понятности и доступности. Вместе с тем метод имеет существенные недостатки.

Метод корректировки нормы дисконта осуществляет приведение будущих потоков платежей к настоящему моменту времени (т.е. обыкновенное дисконтирование по более высокой норме), но не дает никакой информации о степени риска (возможных отклонениях результатов). При этом полученные результаты существенно зависят только от величины надбавки за риск.

Он также предполагает увеличение риска во времени с постоянным коэффициентом, что вряд ли может считаться корректным, так как для многих проектов характерно наличие рисков в начальные периоды с постепенным снижением их к концу реализации. Таким образом, прибыльные проекты, не предполагающие со

временем существенного увеличения риска, могут быть оценены неверно и отклонены.

Использование данного метода не позволит получить оценку вероятности распределения, при этом не несет никакой информации» [57].

Наконец, обратная сторона простоты метода состоит в существенных ограничениях возможностей моделирования различных вариантов, которое сводится к анализу зависимости критериев NPV от изменений только одного показателя — нормы дисконта.

Несмотря на отмеченные недостатки, метод корректировки нормы дисконта широко применяется на практике.

Анализ чувствительности. Анализ чувствительности показателей широко используется в практике финансового менеджмента. В общем случае он сводится к исследованию зависимости некоторого результирующего показателя от вариации значений показателей, участвующих в его определении. Другими словами, этот метод позволяет получить ответы на вопросы вида: что будет с результирующей величиной, если изменится значение некоторой исходной величины? Отсюда его второе название — анализ «что будет, если» («what if» analysis).

Как правило, проведение подобного анализа предполагает выполнение следующих шагов.

1. Задается взаимосвязь между исходными и результирующим показателями в виде математического уравнения или неравенства.
2. Определяются наиболее вероятные значения для исходных показателей и возможные диапазоны их изменений.
3. Путем изменения значений исходных показателей исследуется их влияние на конечный результат.

Проект с меньшей чувствительностью NPV считается менее рисковым.

Обычная процедура анализа чувствительности предполагает изменение одного исходного показателя, в то время как значения остальных считаются постоянными величинами.

Данный метод является хорошей иллюстрацией влияния отдельных исходных факторов на конечный результат проекта.

Главным недостатком данного метода является предпосылка о том, что изменение одного фактора рассматривается изолированно, тогда как на практике все экономические факторы в той или иной степени коррелированы.

Метод сценариев. В отличие от трех предыдущих метод сценариев позволяет совместить исследование чувствительности результирующего показателя с анализом вероятностных оценок его отклонений. В общем случае процедура использования данного метода в процессе анализа инвестиционных рисков включает выполнение следующих шагов.

#### Выводы по второму разделу

Обеспечение экологической безопасности на сегодняшний день является основной целью, задачей и направлением по переходу к цифровой экономике. Загрязнение атмосферного воздуха городских пространств промышленными предприятиями и автотранспортом в настоящее время все больше усугубляют имеющуюся проблему.

Приоритетом для перехода к цифровому управлению экологическими процессами остается создание интеллектуальной комплексной информационной системы для мониторинга, прогнозирования, предупреждения и ликвидации возможных угроз.

Преимуществами автоматизированных систем мониторинга атмосферного воздуха являются:

- возможность получать оперативные данные о залповых выбросах и идентифицировать их источники (в традиционных системах требуется период в несколько дней);
- измерение концентрации отдельных загрязняющих веществ и регистрация существующего уровня загрязнения при помощи показаний используемых в мониторинге приборов, которые работают непрерывно в автоматическом режиме;

– усовершенствованная система контроля за источниками загрязнения, которая позволяет точно зафиксировать момент времени, соответствующий аномально высоким концентрациям загрязняющих веществ;

– достоверность информации о влиянии выбросов предприятий на качество атмосферного воздуха.

В России и других странах мира начали свою работу многочисленные проекты направление на борьбу городов за чистый воздух. Большинство таких проектов основано на мониторинге атмосферного воздуха, который помогает точно определять концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере и своевременно предотвращать возможные угрозы.

Проблема загрязнения воздушного бассейна для Челябинской области и самого города Челябинска является актуальной, так как территории субъекта размещено большое количество промышленных предприятий в процессе работы, которых ежедневно производится выброс вредных веществ в атмосферный воздух. Внедрение современной системы мониторинга атмосферного воздуха может быть выходом в сложившейся ситуации.

Для расчета эффективности от внедрения системы мониторинга используем методику имитационного моделирования, так как имитация является единственным способом исследования систем без осуществления реальных экспериментов.

### 3 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

#### 3.1 Характеристика текущего состояния загрязнения воздуха на территории Челябинской области

В современном мире чистый воздух городских пространств становится дефицитным природным ресурсом. В атмосферу из разных источников происходит выброс 188 различных вредных веществ, которые представляют серьезную опасность для жизни и здоровья людей. На территории Челябинской области и самого города размещено большое количество промышленных предприятий в процессе работы, которых ежедневно производится выброс вредных веществ в атмосферный воздух, в связи, с чем проблема загрязнения атмосферного воздуха на территории Челябинской области является актуальной.

На данный момент мониторинг в субъекте существует 15 стационарных поста по наблюдению за загрязнением атмосферного воздуха. Наблюдения проводятся 3-4 раза в сутки, за исключением выходных и праздничных дней.

На основании представленного Комплексного доклада Министерства экологии Челябинской области за 2019 год была проведена оценка качества загрязнения атмосферного воздуха. Данная оценка проводилась в соответствии с принятыми стандартами предельно допустимых концепций в воздухе и с использованием комплексного показателя – индекса загрязнения атмосферы (ИЗА), стандартного индекса (СИ), наибольшей повторяемости (НП).

Наибольший вклад в загрязнение атмосферы вносили: бенз(а)пирен, формальдегид, диоксид азота. Среднегодовая концентрация бенз(а)пирена превысила предельно допустимый уровень в целом по городу в 2,3 раза.

По остальным исследуемым загрязняющим веществам средние за год концентрации не превышали нормативные значения.

По результатам мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на территории области уровень загрязнения атмосферного воздуха в целом по Индексу за-

грязнения атмосферного воздуха оценивается как «высокий» [50].

Факторы, оказывающие влияние на загрязнение атмосферного воздуха на территории Челябинской области, подразделяются на два типа: человеческие и природные.

К человеческому фактору относятся процессы, связанные с деятельностью человека, такие как выбросы вредных веществ от промышленных предприятий и автотранспортных средств.

Природный фактор связан с действием непреодолимой силы, такой как природные пожары, пыльные бури, вулканы и пр.

Общий объем загрязняющих веществ в атмосферный воздух на территории субъекта за период с 2015-2019 гг. составил 2 883 888 тыс. тонн, наибольшая доля пришла на 2015 год (664 835 тыс. тонн.), среднее значение объема выброса загрязняющих веществ за рассматриваемый период 576 777,54 тыс. тонн. (см. таблица 3.1)

Таблица 3.1 – Объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух за 2015-2019 гг., тыс. тонн

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	Сумма	Ср. значение
Всего выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух	664 835	633 657,4	565 009,4	516 040,3	504 345,6	2 883 888	576 777,54

Человеческий фактор влияния на загрязнение атмосферного воздуха в Челябинской области:

1. Промышленные предприятия.

Основная доля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух приходится на промышленные предприятия. По состоянию на 2019 год на территории области успешно функционируют и осуществляют свою деятельность многочисленное количество предприятий, из которых 196 853 вносят большой вклад в загрязнение атмосферного воздуха. Благоприятная среда для осуществления деятельности на территории региона способствует росту количества предприятий, так их численность с 2015 года увеличилась на 79 779. Сложившаяся тенденция



роста, ставит вопрос о необходимости совершенствования системы экологического мониторинга более остро (рис. 3.1).

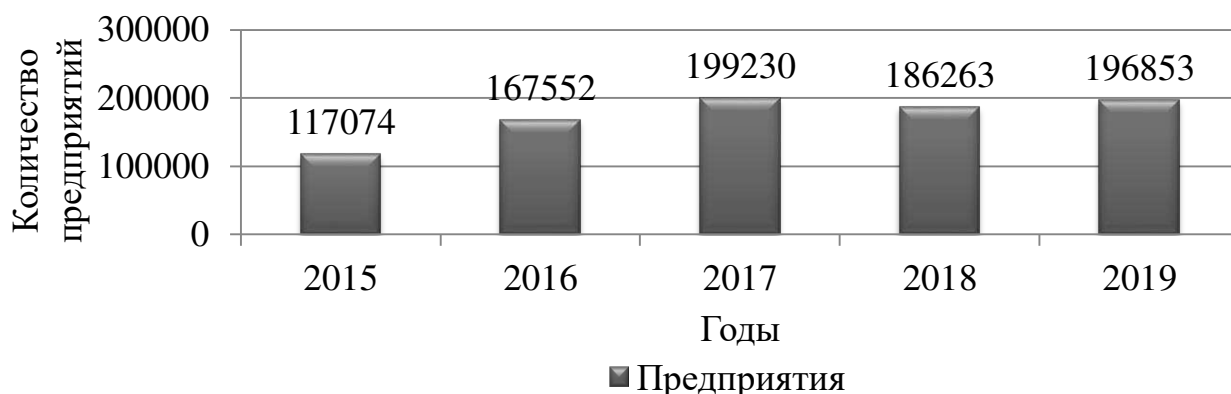


Рисунок 3.1 – Динамика количества предприятий расположенных на территории Челябинской области за период 2015-2019 гг.

На территории субъекта функционируют 14 предприятий деятельность, которых приносит основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха к ним относятся: ОАО «ММК», ОАО «Уфалейникель», ПАО «ЧМК», Филиал ПАО «ОГК-2» – «Троицкая ГРЭС», ООО «Мечел-Кокс», филиал «Южноуральская ГРЭС» АО «Интер РАО – Электрогенерация», ЗАО «Катавский цемент», ЗАО «Карабаш-медь», ООО «Группа «Магнезит», ОАО «ЧЭМК», ЧФ ООО «Мечел-Материалы», ОАО «Челябинский цинковый завод», ОАО «Комбинат «Магнезит», ОАО «ЧТПЗ».

Согласно данным Министерства экологии Челябинской области за период 2015-2019 гг. на территории области крупными промышленными предприятиями произведено 2 719 279 тыс. тонн выброса вредных веществ в атмосферный воздух, в среднем 543 855,8 тыс. тонн ежегодно.

Таблица 3.2 – Объем выброса вредных веществ в атмосферный воздух основными предприятиями за период 2015-2019 гг., тыс. тонн

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	Ср. значение	Всего за период
Предприятия (основные источники загрязнения)	626 889	597 484	532 722	486 486	475 698	543 855,8	2 719 279

Согласно имеющимся данным следует отметить, что максимальное количество выбросов загрязняющих веществ, произведенных основными видами деятельности пришлось на 2015 год, что составляет 23,05 %, а наименьшее количество выбросов произведенных предприятиями Челябинской области пришлось на 2019 год (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Доля вклада основных видов деятельности в выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух за период 2015-2019 гг.

Ежегодно промышленные предприятия, в результате производства, в атмосферный воздух выбрасывают огромное количество вредных веществ, которые влияют на ухудшение экологической обстановки, а также на здоровье граждан проживающих на территории региона.

## 2. Транспортные средства.

Помимо предприятий в результате деятельности, которых вырабатываются вредные вещества, попадающие в атмосферный воздух, неотъемлемый вклад в загрязнение воздуха на территории региона вносят выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта.

Максимальное количество автотранспорта зарегистрировано в 2017 году, объем выброса загрязняющих веществ за этот период составил 305,7 тыс. тонн. Наибольший объем выброса вредных веществ в атмосферу зафиксировано в 2018 году, несмотря на то, что количество зарегистрированного автотранспорта не превышало максимальных значений в период за 2015-2019 гг. В среднем за рассмат-

риваемый период на территории Челябинской области зарегистрировано 1 249 825 транспортных средств, в результате эксплуатации которых в среднем было произведено 273,96 тыс. тонн выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (см. таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Показатели выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта

Наименование показателя	Ед. изм.	2015	2016	2017	2018	2019	Ср. значение
Количество зарегистрированных автотранспортных средств	шт.	1 242 866	1 231 157	1 430 214	1 275 451	1 096 100	1 249 825
Всего выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта	тыс. тонн	313,8	306	305,7	344,5	99,78	273,96

Наибольшая доля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспортных средств согласно рисунку 2.4 произведена в 2015 году, что составляет 22,97%, доля выбросов, имеющая минимальный показатель в рассматриваемом периоде составляет 18,54% и относится к 2017 году. В среднем объем выброса загрязняющих веществ от автотранспорта ежегодно составляет 329,74 тыс. тонн. Доля выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта за период 2015-2019 гг. представлена на рисунке 3.3.

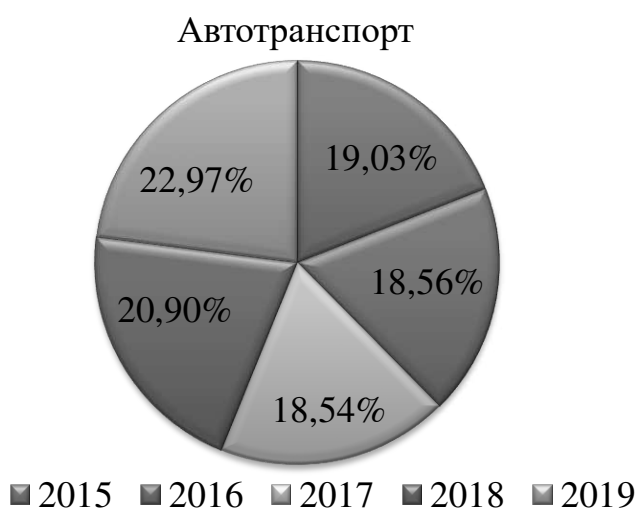


Рисунок 3.3 – Доля выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта за период 2015-2019 гг., тыс. тонн

Природные факторы, влияющие на загрязнение атмосферного воздуха на территории Челябинской области.

Основным источником природных факторов загрязнения атмосферного воздуха являются природные пожары, доля которых составляет 0,06 от общего объема загрязняющих веществ. Всего за период 2015-2019 гг. объем загрязняющих веществ связанный с природными пожарами составил 163 238,9 тыс. тонн, в среднем объем нагрузки на атмосферный воздух за рассматриваемый период составил 32 647,79 тыс. тонн (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Объем выбросов загрязняющих веществ от природных пожаров за период 2015-2019 гг., тыс. тонн

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	Сумма	Ср. значение
Выбросы загрязняющих веществ от природных пожаров	37 632,17	35 867,4	31 981,66	29 209,83	28 547,87	163 238,9	32 647,79

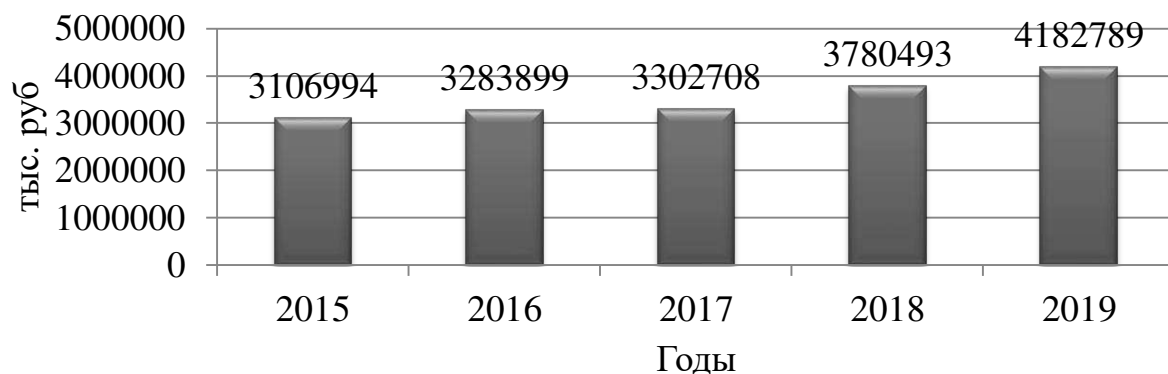
Каждый год из бюджета выделяются денежные средства на поддержание экологической обстановки на территории субъекта, так за период 2015-2019 гг. из бюджета было выделено 17 656 883 тыс. руб., что в среднем составляет 3 531 377 тыс. руб. ежегодно (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Затраты на охрану атмосферного воздуха в период с 2015-2019гг, тыс. руб.

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	Ср. значение	Всего за период
Затраты на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата	3 106 994	3 283 899	3 302 708	3 780 493	4 182 789	3 531 377	17 656 883

Затраты, которые правительство Челябинской области ежегодно вкладывает, в охрану атмосферного воздуха региона с каждым годом растут, о чем свидетельствуют сведения Министерства экологии. Так, согласно ежегодному отчету в пе-

риод с 2015 по 2019 гг. расходы, понесенные на охрану атмосферного воздуха на территории региона, увеличились на 1 075 795 тыс. руб. (рис. 3.4).



■ Затраты на охрану атмосферного воздуха

Рисунок 3.4 – Динамика затрат на охрану атмосферного воздуха в период с 2015 по 2019 гг., тыс. руб.

Согласно постановлению Правительства Челябинской области от 21.12.2011 № 467-П «Об уполномоченном органе» Министерство экологии Челябинской области отвечает за осуществление регионального государственного экологического надзора. Так, согласно официальным данным ежегодного отчета за период 2015-2019 гг. уполномоченным органом было взыскано штрафов на общую сумму 10 065 тыс. руб., что в среднем составляет 2013 тыс. руб. на каждый год. Наибольшая сумма штрафных санкций в области охраны атмосферного воздуха пришлась на 2018 год (5 002 тыс. руб.), что составляет 49,70 % от основной доли взысканных штрафов. Наименьшая доля в размере 8,82% от общего объема приходится на 2019 год.

Таблица 3.6 – Сумма наложенных штрафов за нарушение в области охраны атмосферного воздуха за 2015-2019 гг., тыс. руб.

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	Сумма	Ср. значение
Сумма наложенных штрафов за нарушения в области охраны атмосферного воздуха	1 293	1 039	1 843	5 002	888	10 065	2 013

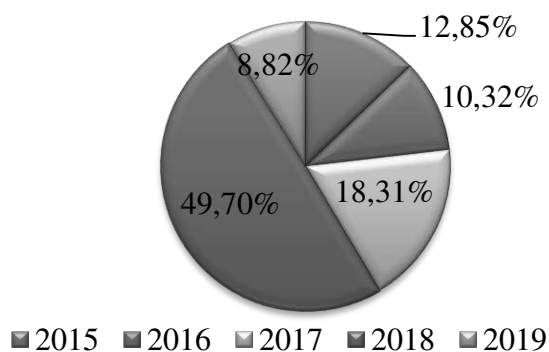


Рисунок 3.5 – Доля штрафов, наложенных за нарушение в области охраны атмосферного воздуха за 2015-2019 гг., тыс. руб.

### 3.2 Анализ факторов воздействия на объем выбросов загрязняющих веществ

В улучшении работы системы экологического мониторинга атмосферного воздуха на территории субъекта заинтересованы все стороны: административные органы, организации (промышленные предприятия) и частные лица. Поэтому можно сказать, что они являются потребителями продукта, т.е. потребители продукта – заинтересованные лица. Наиболее заинтересованной стороной являются жители города (частные лица), так как загрязнение воздуха негативно влияет на благополучие и здоровье человека.

Для определения значимости улучшения системы экологического мониторинга атмосферного воздуха на территории субъекта с точки зрения потребителя проведена экспертная оценка методом ранговой корреляции, цель которой заключается в получении информации с последующим ее использованием для оценки эффективности реализации модели экологического мониторинга атмосферного воздуха на территории Челябинской области.

Для проведения оценки экспертам были предложены семь факторов (число параметров:  $n = 7$ ), которые ожидается достигнуть по результатам внедрения системы экологического мониторинга, а именно:

- 1) Удобная информационная база для государственного контроля предприятий-загрязнителей и внедрения экономических механизмов охраны окружающей среды.

- 2) Контроль за развитием и состоянием экологической инфраструктуры города.
- 3) Формирование экологического рейтинга районов.
- 4) Сокращение времени реагирования на жалобы населения, проверки объектов и назначения штрафов.
- 5) Создание единой базы природопользователей с электронным ведением документации.
- 6) Оптимизация бюджета региона в области охраны окружающей среды, контроль нарушения условий государственных контрактов и рекомендации по применению штрафов.
- 7) Сокращение времени принятия управленческих решений.

В экспертную группу для оценки входили жители города и административные служащие в количестве пяти человек (число экспертов:  $m = 5$ ).

Оценка факторов системы экологического мониторинга по степени значимости для потребителей экспертами произведена путем присвоения им рангового номера. Параметру, которому эксперты дали наивысшую оценку, присвоен ранг один. В случае если экспертами признано несколько параметров равнозначными, то им присвоен одинаковый ранговый номер. На основе данных анкетного опроса составлена сводная матрица рангов, которая представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Матрица рангов

Параметры факторов	Эксперты				
	1	2	3	4	5
Удобная информационная база для государственного контроля предприятий-загрязнителей и внедрения экономических механизмов охраны окружающей среды ( $x_1$ )	5	3	4	6	3
Контроль за развитием и состоянием экологической инфраструктуры города ( $x_2$ )	6	7	4	5	6
Формирование экологического рейтинга районов ( $x_3$ )	1	3	2	2	4
Сокращение времени реагирования на жалобы населения, проверки объектов и назначения штрафов ( $x_4$ )	7	5	6	4	7
Создание единой базы природопользователей с электронным ведением документации ( $x_5$ )	3	4	5	4	2
Оптимизация бюджета региона в области охраны окружающей среды, контроль нарушения условий государственных контрактов и рекомендации по применению штрафов ( $x_6$ )	2	1	1	1	3
Сокращение времени принятия управленческих решений ( $x_7$ )	3	5	4	2	5

Согласно таблице 3.7 экспертами в анкетном опросе для разных параметров факторов присвоены одинаковые ранги (баллы), т.е. ранги в матрице являются связанными, поэтому необходимо произвести их переформирование (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Переформирование рангов

Номера мест в упорядоченном ряду	1	2	3	4	5	6	7
1-й эксперт	1	2	3	3	5	6	7
Расположение параметров по оценке эксперта	X <sub>3</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>
Новые ранги	1	2	3,5	3,5	5	6	7
2-й эксперт	1	3	3	4	5	5	7
Расположение параметров по оценке эксперта	X <sub>6</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>2</sub>
Новые ранги	1	2,5	2,5	4	5,5	5,5	7
3-й эксперт	1	2	4	4	4	5	6
Расположение параметров по оценке эксперта	X <sub>6</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>4</sub>
Новые ранги	1	2	4	4	4	6	7
4-й эксперт	1	2	2	4	4	5	6
Расположение параметров по оценке эксперта	X <sub>6</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>
Новые ранги	1	2,5	2,5	4	5,5	5,5	7
5-й эксперт	2	3	3	4	5	6	7
Расположение параметров по оценке эксперта	X <sub>5</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>
Новые ранги	1	2,5	2,5	4	5	6	7

Среднее значение параметров матрицы рангов составляет 20. Произведем расчет  $\Delta$ , которая обозначает разницу суммы ранга по показателю и его среднего значения. На основании переформированных рангов и произведенных расчетов построена новая матрица рангов, которая представлена в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Новая матрица рангов

Факторы	Эксперты							Сумма ранга	$\Delta$	$\Delta^2$
	1	2	3	4	5	6	7			
X <sub>1</sub>	5	2,5	4	7	2,5			21	1	1
X <sub>2</sub>	6	7	4	5,5	6			28,5	8,5	72,25
X <sub>3</sub>	1	2,5	2	2,5	4			12	-8	64
X <sub>4</sub>	7	5,5	7	4	7			30,5	10,5	110,25
X <sub>5</sub>	3,5	4	6	5,5	1			20	0	0
X <sub>6</sub>	2	1	1	1	2,5			7,5	-12,5	156,25
X <sub>7</sub>	3,5	5,5	4	2,5	5			20,5	0,5	0,25
$\sum_{j=1}^n x_{ij}$	28	28	28	28	28			140		S = 404

Согласно таблице 3.9 видно, что суммы всех столбцов матрицы равны между собой и контрольной сумме из этого следует, что новая матрица рангов составлена правильно.



Исходя из условий ранжирования параметр с наименьшей суммой рангов имеет наибольшее значение, и наоборот, параметр с наибольшей суммой рангов оценивается как наименее важный. Рассматриваемые параметры по значимости распределились следующим образом (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Распределение параметров по значимости

Параметры	X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>6</sub>
Сумма ранга	30,5	28,5	21	20,5	20	12	7,5

Полученные результаты оценок параметров рангов, распределенные по значимости представлены на рисунке 3.6.

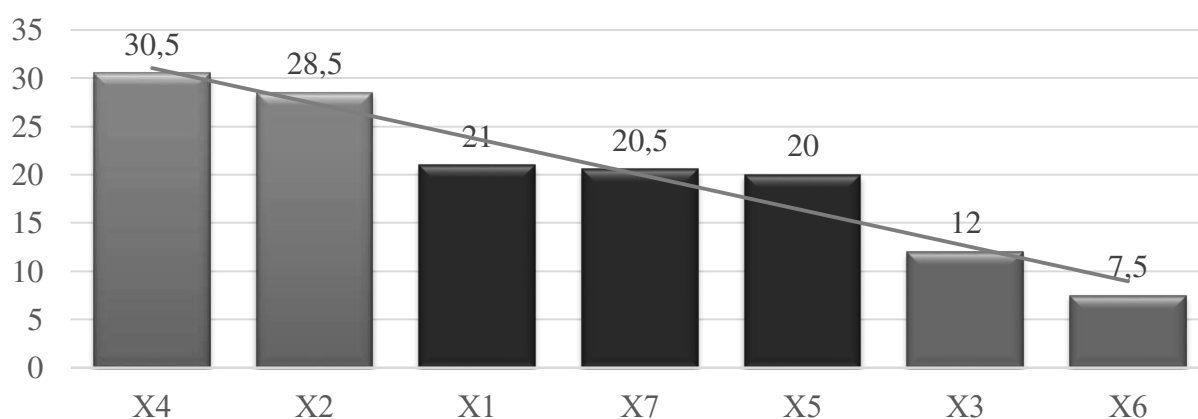


Рисунок 3.6 – Гистограмма распределения сумм рангов

Гистограмма позволяет сгруппировать параметры по своей значимости в 3 группы.

К первой группе относятся параметры:  $x_4$  – Сокращение времени реагирования на жалобы населения, проверки объектов и назначения штрафов и  $x_2$  – Контроль за развитием и состоянием экологической инфраструктуры города.

Ко второй группе относятся:  $x_1$  – Удобная информационная база для государственного контроля предприятий-загрязнителей и внедрения экономических механизмов охраны окружающей среды,  $x_7$  – сокращение времени принятия управленческих решений и  $x_5$  – Создание единой базы природопользователей с электронным ведением документации.

К третьей группе относятся:  $x_3$  – формирование экологического рейтинга районов и  $x_6$  – Оптимизация бюджета региона в области охраны окружающей среды,

контроль нарушения условий государственных контрактов и рекомендации по применению штрафов.

Важнейшими факторами по мнению экспертов являются –  $X_4$ ,  $X_2$ .

Предприятия, основные источники загрязнения атмосферы региона.

Челябинская область относится к одним из наиболее крупных в экономическом отношении субъектов Российской Федерации. Промышленное развитие региона определяют металлургический, машиностроительный, топливно-энергетический, строительный и аграрно-промышленный комплексы.

В процессе работы крупных промышленных предприятий, деятельность которых связана с металлургическим комплексом производится выброс большого количества загрязняющих веществ в атмосферный воздух причиняя вред окружающей среде и здоровью жителей города.

Согласно тому, что основной вклад в загрязнение воздушного бассейна приходится на предприятия металлургического комплекса, были проанализированы факторы, влияющие на объем выбросов загрязняющих веществ таких предприятий (цены на металл, курс доллара, объем производства и пр.). Факторы, оказывающие влияние на объем выброса загрязняющих веществ представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Факторы, оказывающие влияние на объем выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух, 2015-2019 гг.

Фактор	Ед. изм.	2015	2016	2017	2018	2019	Коф. кор.
Объем производства:							
Сталь	тыс. тонн	17 101	17 219,9	17 638,9	17 438,4	17 548	– 0,8243
Прокат готовый	тыс. тонн	14 675,8	14 873,2	15 065,7	14 833	14 231,3	0,32783
Цемент	тыс. тонн	2 158	1 994,2	1 703,2	1 537,7	1 637,2	0,970171
Электроэнергия	млн. кВт/ч	26 894	28 813,2	28 701,4	30 170,9	29 394,4	– 0,88284
Цена на черные и цветные металлы:							
Цена на сталь	дол. тонн	320	212	316	338	284	– 0,32529
Цена на алюминий	долл./ тонн	1671	1623	2026	2232	1809	– 0,7071

### Окончание Таблицы 3.11

Фактор	Ед. изм.	2015	2016	2017	2018	2019	Коф. кор.
Цена на медь	долл./ тонн	5 481	5 204	6 340	6 550	6 053	-0,82046
Цена на свинец	долл./ тонн	1 847	2 056	2 647	2 274	2 015	-0,40892
Цена на никель	долл./ тонн	11 767	9 722	10 770	13 167	15 097	-0,72334
Цена на олово	долл./ тонн	16 572	18 395	20 000	20 222	18 800	-0,77077
Цена на цинк	долл./ тонн	1 933	2 258	2 901	2 951	2 613	-0,84706
Курс доллара	руб.	60,66	66,9	58,01	62,54	64,73	-0,02286
Цена на нефть	руб.	52,08	41,9	53,03	71,72	59,38	-0,74479
Экспорт	млн. долл.	3 329,1	2 747,3	3 821,6	4 829,7	3 878,5	-0,78007
Потребление черной метал- лургии в мире	млн. тонн	1 591	1 611	1 723	1 791	1 825	-0,99433
Количество предприятий	шт.	117 074	167 552	199 230	186 263	196 853	-0,84173
Затраты на при- родоохранную деятельность	тыс. руб.	3 106 994	3 283 899	3 302 708	3 780 493	4 182 789	-0,88738
Штрафы	тыс. руб.	1 293	1 039	1 843	5 002	1 523	-0,5712
ВРП	млн. руб.	1 209 243	1 271 133	1 353 120	1 473 728	1 583 140	-0,9627

Согласно коэффициенту корреляции, почти все факторы имеют обратную зависимость на объем выброса загрязняющих веществ, т.е. при росте объема выбросов, уменьшается фактор оказывающий воздействие и наоборот.

Наиболее сильная связи между объемом выброса вредных веществ в атмосферу и потреблением черной металлургии в мире, коэффициент корреляции в данном случае составляет 0,99433 (обратная зависимость). На рисунке 3.6 представлена зависимость объема загрязняющих веществ на территории Челябинской области от потребления черной металлургии в мире.

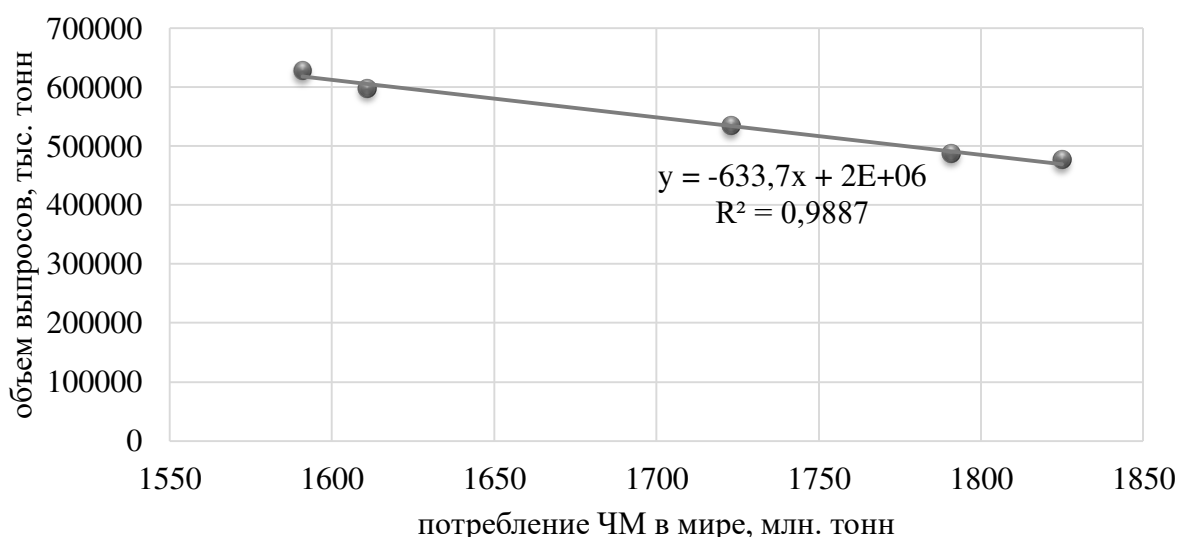


Рисунок 3.7 – Влияние потребления черной металлургии в мире на объем выброса загрязняющих веществ

В таблице 3.12 представлены результаты регрессионного анализа зависимости объема выбросов от потребления черной металлургии в мире.

Таблица 3.12 – Регрессионная статистика

Показатель	Значение
Множественный R	0,994329
R-квадрат	0,988689
Нормированный R-квадрат	0,984919
Стандартная ошибка	8199,292
Наблюдения	5

R-квадрат – коэффициент детерминации. В данном случае составляет – 0,9887, или 98,87%, т.е. расчетные параметры модели на 98,87% объясняют зависимость между изучаемыми параметрами. Иными словами, чем выше коэффициент детерминации, тем качественнее модель. Следовательно, рассматриваемая зависимость имеет хорошую связь.

Рост регионального внутреннего продукта (ВРП) приводит при одновременном снижении совокупного объема выбросов вредных веществ в атмосферу к росту «эколого-экономической привлекательности региона». На рисунке 3.8 представлена зависимость объема загрязняющих веществ на территории Челябинской области от валового регионального продукта.

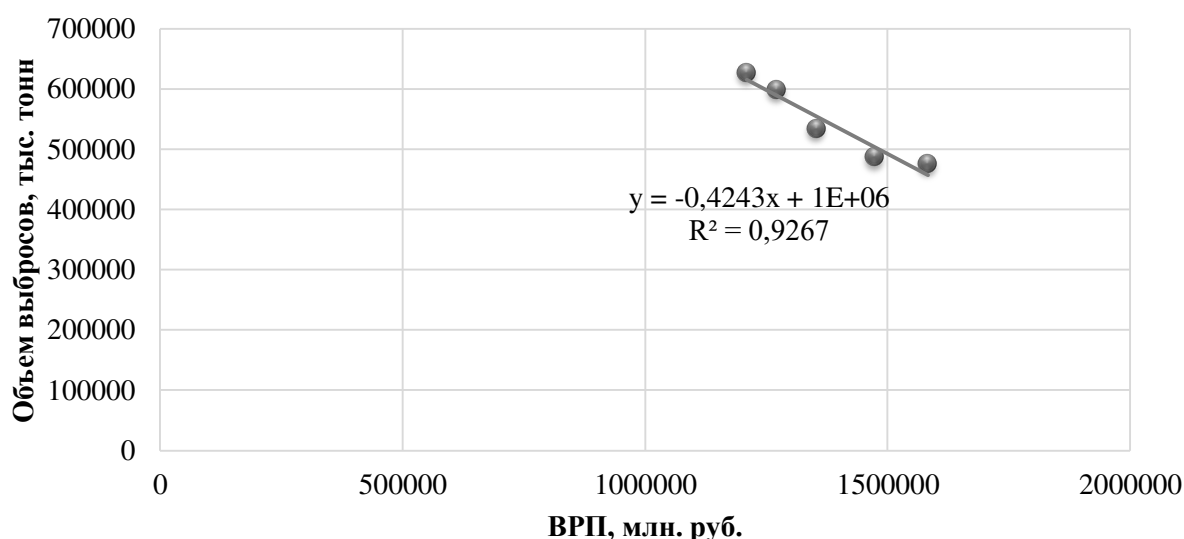


Рисунок 3.8 – Влияние валового регионального продукта на объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Коэффициент детерминации в рассматриваемой модели составляет – 0,9627, или 96,27%, что свидетельствует тесной зависимости рассматриваемых факторов.

На показатель загрязнения атмосферного воздуха промышленными предприятиями на территории субъекта влияет большое количество факторов: цены на черную и цветную металлургию; количество предприятий, в результате деятельности которых наносит вред окружающей среде; объем производства и пр. К основным факторам, вызывающими рост объема выброса вредных веществ в атмосферу, относятся спрос на черную металлургию и валовый региональный продукт.

К показателям, на которые способны оказывать влияние местные органы самоуправления относятся: затраты на природоохранную деятельность, в части загрязнения атмосферного воздуха и штрафы, взысканные с промышленных предприятий за нарушение экологических норм.

Проведенный корреляционный анализ показателя «затраты на природоохранную деятельность, в части загрязнения атмосферного воздуха» на объем выброса загрязняющих веществ показал, что существует достаточно плотная взаимосвязь факторов, что подтверждает коэффициент корреляции, который составляет в данном случае -0,88738. Связь факторов является обратно, т.е. увеличение суммы расходов на мероприятия, направленные на улучшение экологической обстановки

способствую снижению концентрации вредных веществ в воздухе. На рисунке 3.9 представлен график зависимости факторов.

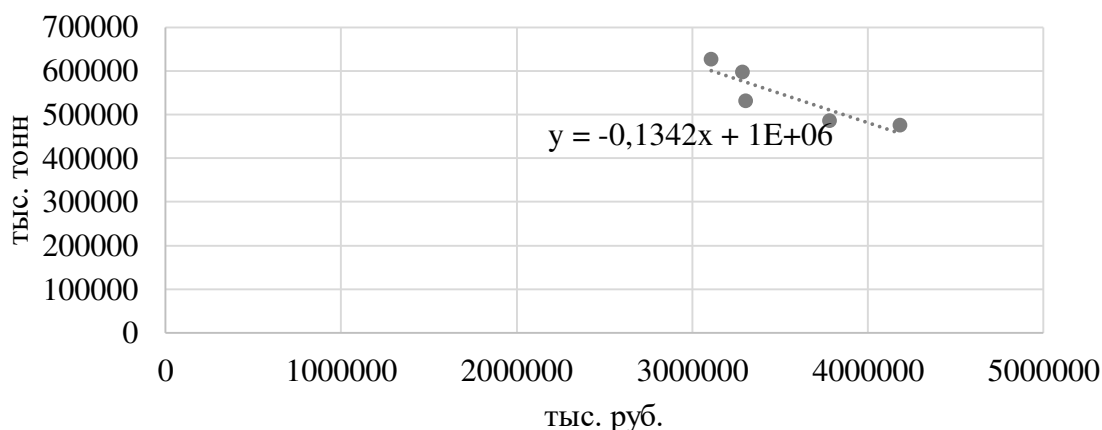


Рисунок 3.9 – График зависимости фактора затраты на природоохранную деятельность и объема выбросов

Взаимосвязь фактора «штрафы, взысканные с промышленных предприятий за нарушение экологических норм» и объема выбросов вредных веществ сравнительно ниже, чем у затрат, но является не менее значительной. В результате корреляционного анализа получены данные о существовании значительной связи, что подтверждается коэффициентом корреляции, который составил  $-0,5712$ . Связь факторов обратная, это говорит о том, что при росте суммы штрафа за нарушение экологических норм, которые накладывают на предприятия, сокращается объем выбросов. На рисунке 3.10 представлен график зависимости факторов «штраф за нарушение экологических норм» и «объем выбросов загрязняющих веществ».

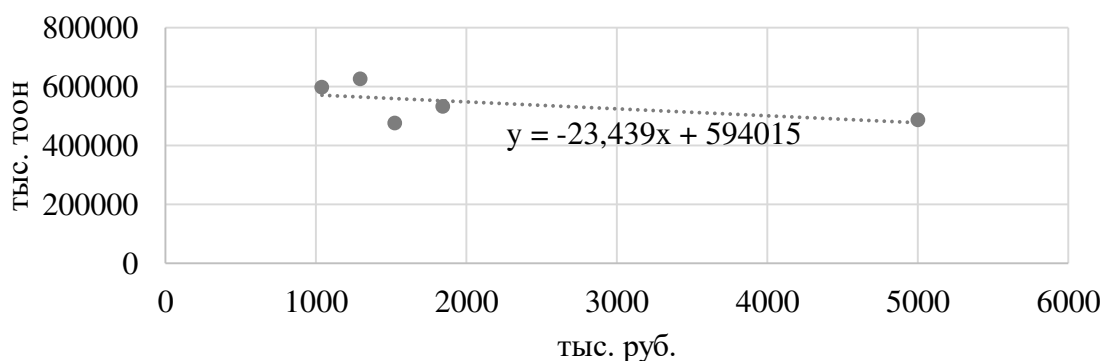


Рисунок 3.10 – График зависимости штрафов и объема выбросов

В загрязнение вредными веществами атмосферного воздуха на территории ре-

гиона немаловажную роль играют выбросы от автотранспорта. С ростом размера городов и населенных пунктов увеличивается численность жителей, которые имеют необходимость использовать личный и общественный транспорт. В таблице 3.13 представлены факторы, оказывающие влияние на загрязнение воздуха от использования автотранспорта.

Таблица 3.13 – Факторы, оказывающие влияние на загрязнение воздуха от использования автотранспорта

Показатель	ед. изм.	2015	2016	2017	2018	2019	Коф. кор.
Количество зарегистрированных автотранспортных средств	шт.	1 242 866	1 231 157	1 430 214	1 275 451	1 096 100	0,7092
Перевозка пассажиров общественным транспортом	млн. чел.	243,5	127,2	109,7	99,5	96,4	0,3076
Пассажирооборот	млн. пасс-км	3 095,1	2 316,4	1 600,4	1 583,2	1 481,4	0,3750
Перевозка грузов	млн. тонн	39,1	33,1	31,7	36,4	27,1	0,8136
Грузооборот	млн. т-км	3 599,1	3 931,7	3 818,4	5 835,4	5 390,8	-0,3390
Среднегодовая численность населения в Челябинской области	чел.	3 497 274	3 500 716	3 502 323	3 493 036	3 475 753	0,8801
Количество граждан на одну ед. транспорта	чел.	2,81	2,84	2,45	2,74	3,17	-0,7668
Среднегодовая заработная плата населения в Челябинской области	руб.	29 795	31 040	31 902	34 980	38 000	-0,7297
Количество общественного транспорта	шт.	1 089	1 113	1 141	1 197	1 470	-0,9306

Согласно данным представленным в таблице 3.13 наиболее значимый фактор, оказывающий негативное воздействие на окружающую среду является рост численности населения области. Коэффициент корреляции в данном случае составляет 0,8801 (прямая зависимость), что говорит о значительном влиянии рассматриваемого фактора. Увеличение числа жителей области ведет к увеличению объема загрязняющих веществ (рисунок 3.11).

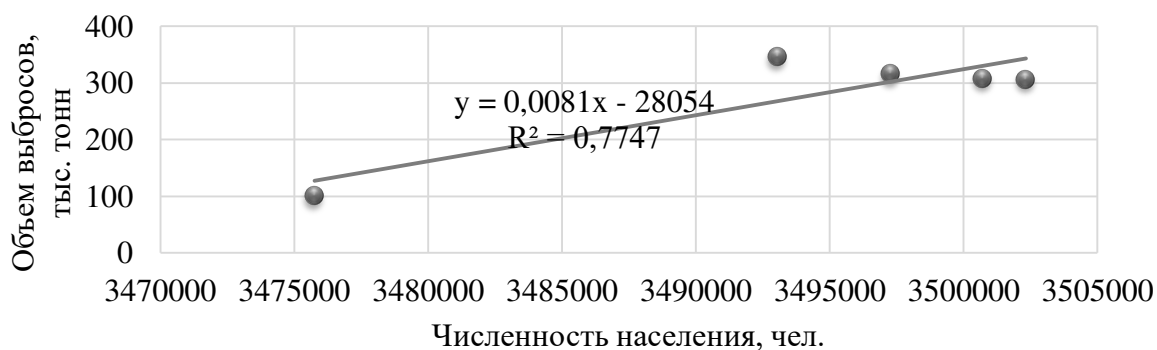


Рисунок 3.11 – Влияние численности населения на загрязнение атмосферного воздуха

Коэффициент детерминации составляет – 0,7747, или 77,47%, т.е. расчетные параметры модели на 77,47% объясняют зависимость между рассмотренными параметрами. Таким образом, зависимости числа жителей региона и объема выброса загрязняющих веществ имеет достаточно тесную связь.

Показатели «Перевозка грузов» (коэффициент корреляции 0,8136) и «Среднегодовая заработная плата населения в Челябинской области» (коэффициент корреляции -0,7297) в рассматриваемой зависимости также имеют достаточный вклад в загрязнение окружающей среды. В случае перевозки грузов данная тенденция обуславливается не рациональной организацией перевозки грузов и движения грузовых машин, а также загруженностью дорог и не достаточной оснащенностью объездных путей в области. От заработной платы населения зависит возможность граждан приобретать более экологичный и современный автотранспорт, в процессе эксплуатации которого производится меньше загрязняющих выбросов.

К показателям, на которые способны оказывать влияние местные органы самоуправления относятся: количество зарегистрированных автотранспортных средств и количество доступного общественного транспорта.

В результате проведенного корреляционного анализа, можно судить о сильной зависимости фактора «количество доступного общественного транспорта» и объема выброса загрязняющих веществ, коэффициент корреляции данной зависимости составляет -0,9306. Обратная связь говорит о том, что в случае увеличения доступного, современного общественного транспорта уменьшится объем ток-



сичных веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух. На Рисунке 3.12 представлен график зависимости количества общественного транспорта и объема выбросов загрязняющих веществ.

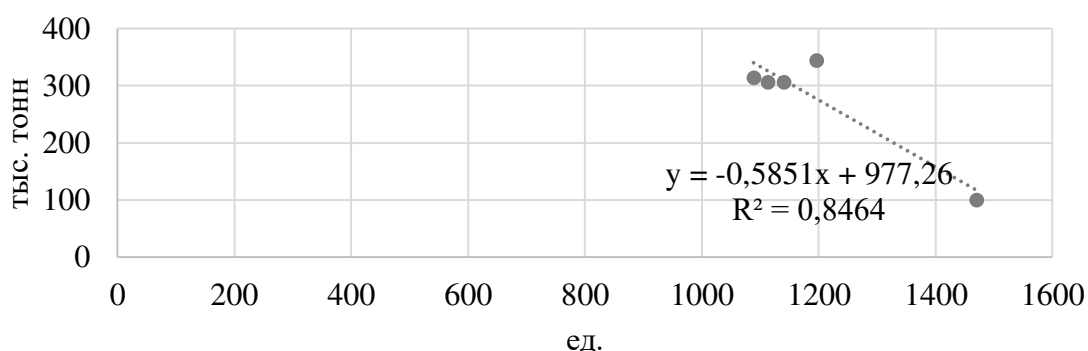


Рисунок 3.12 – График зависимости количества общественного транспорта и объема выбросов

Рассмотрим показатель «количество зарегистрированных автотранспортных средств» как поддающийся влиянию в связи с тем, что он имеет тесную связь с количеством доступного общественного транспорта. Рост количества общественного транспорта, способствует снижению количества зарегистрированных личных транспортных средств. Зависимость между данным фактором и объемом выбросов загрязняющих веществ также является значительной, о чем свидетельствует коэффициент корреляции, полученные в результате анализа 0,7092, зависимость рассмотренных факторов – прямая. Рост числа личных транспортных средств приводит к увеличению объема выброса загрязняющих веществ. На рисунке 3.13 представлен график данной зависимости.

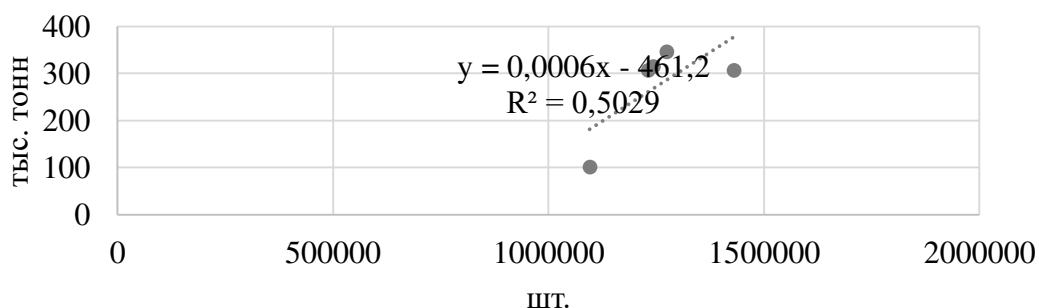


Рисунок 3.13 График зависимости количества общественного транспорта и объема выбросов

### 3.3 Эффективность внедрения системы экологического мониторинга на территории Челябинской области

С конца декабря 2020 года начал свою деятельность «Центр мониторинга воздуха» планируется, что данный центр будет производить сбор информации о состоянии качества воздуха от всех контролируемых источников: Росгидромет, Роспотребнадзор, Министерство экологии Челябинской области. После сбора информации проводить анализ о состоянии атмосферного воздуха.

Кроме того, в систему мониторинга будут включены специализированные датчики, расположенные около промышленных предприятий в целях отслеживания токсичных выбросов.

Принцип работы открытого центра мониторинга соответствует требованиям в рамках smart city

Согласно проведенного анализа факторов, которые оказывают влияние на объем выбросов загрязняющих веществ, производимых промышленными предприятиями, значимыми факторами являются потребление черной металлургии в мире и рост объемов валового регионального продукта. К факторам, оказывающим воздействие на атмосферу, которые поддаются корректировке со стороны административных органов субъекта и также являющиеся значимыми относятся: затраты на охрану атмосферного воздуха и сумма штрафов, накладываемых на предприятия за нарушения установленных экологических правил.

Исходя из того, что на показатели роста или спада потребления черной металлургии в мире и валового регионального продукта оказывать влияние муниципалитету нет возможности, проанализируем факторы поддающиеся корректировке со стороны административных органов управления.

В среднем за период 2015-2019 гг. ежегодно из бюджета области выделяется 3 531 377 тыс. рублей на мероприятия по обеспечению безопасности атмосферного воздуха.

Линейное уравнение регрессионной зависимости между объемом вредных выбросов и затратами, которые выделялись на охрану атмосферного воздуха представлено в следующем виде:  $-0,1342x+1\ 017\ 649$ .

Посредством «Пакета анализа» программного продукта Microsoft Office Excel сгенерировано 5 000 наблюдений показателя средней суммы затрат, среднее квадратичное отклонение которых составляет 3,8. Из имеющегося регрессионного уравнения произведен расчет объема выбросов загрязняющих веществ для сгенерированных наблюдений.

Согласно статистическим данным сгенерированных наблюдений при условии финансирования муниципалитетом мероприятий по охране атмосферного воздуха в размере 3 531 377 тыс. рублей, объем выброса загрязняющих веществ будет составлять 543 738,20 тыс. тонн ежегодно (таблица 3.14)

Таблица 3.14 – Статистические данные объема выбросов и затрат на охрану атмосферного воздуха.

Затраты на охрану атмосферного воздуха		Объем выбросов загрязняющих веществ	
Среднее	3 531 377	Среднее	543 738,2
Стандартная ошибка	0,054069	Стандартная ошибка	0,007256
Стандартное отклонение	3,823289	Стандартное отклонение	0,513085

В рассматриваемом периоде контролирующими органами Челябинской области в среднем было взыскано с промышленных предприятий штрафов на сумму 2 140 тыс. рублей. Линейное уравнение регрессионной зависимости между объемом вредных выбросов и штрафами промышленных предприятий за несоблюдение экологических норм представлено в следующем виде:  $-23,4388x+594\ 015$ .

Проведенный анализ показал, что зависимость между показателями является не высокой, но все же значительной. В случае применения штрафных санкций за негативное воздействие на атмосферный воздух в сумме 2 140 тыс. рублей ежегодно, объем выброса вредных веществ будет варьироваться в рамках 543 858,4 тыс. тонн ежегодно, при этом стандартное отклонение составит 165,74.

Таблица 3.15 – Статистические данные объема выбросов и средней суммы штрафов за нарушение экологических норм

Сумма штрафов		Объем выбросов	
Среднее	2 139,897	Среднее	543 858,4
Стандартная ошибка	0,099999	Стандартная ошибка	2,34385
Стандартное отклонение	7,070979	Стандартное отклонение	165,7353
Дисперсия выборки	49,99874	Дисперсия выборки	27 468,17

Из проведенного имитационного моделирования можно судить о сильной зависимости между показателем объема выброса вредных веществ в атмосферный воздух и сумм штрафов, а также затрат на мероприятия по охране атмосферного воздуха.

Корреляционный анализ многофакторной модели указывает на наличие значительной зависимости рассматриваемых показателей  $x_1$  (средняя сумма штрафов) и  $x_2$  (затраты на охранные мероприятия) на  $y$  (объем выбросов), при это мультиколлинеарность факторов составляет 0,35.

Уравнение регрессии многофакторной модели, представлено в следующем виде:  $915\,339,4 - 15,3828x_1 - 0,9454x_2$ .

Статистический анализ сгенерированных факторов показал, что в том случае если контрольными и административными органами ежегодно наказывать штрафами промышленные предприятия на сумму 2 140 тыс. рублей и выделять средства из бюджета на мероприятия по охране в области загрязнения атмосферного воздуха, то уровень объема выбросов загрязняющих веществ будет в пределах 543 870 тыс. тонн (Таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Статистические данные многофакторного анализа

Сумма штрафов		Сумма затрат на охрану		Объем выбросов	
Среднее	2 139,996	Среднее	3 531 377	Среднее	543 870,1
Стандартная ошибка	0,098281	Стандартная ошибка	0,053827	Стандартная ошибка	1,192462
Стандартное отклонение	6,949546	Стандартное отклонение	3,806164	Стандартное отклонение	84,31982

Согласно комплексному плану мероприятий проекта «Чистый воздух», который направлен на улучшение экологической обстановке на территории субъекта, планируется уменьшить количество выбросов на 20% до 2024 года и на 50% до 2030 года.

Рассмотрим возможность улучшения экологической обстановки на территории Челябинской области в части загрязнения атмосферного воздуха на 20% в период

до 2024 года.

В рамках работы при помощи «Пакета анализа» программного продукта Excel проведем имитационный анализ сумм затрат, которые в среднем за рассматриваемый период выделяются на проведение мероприятий по улучшению качества атмосферного воздуха.

Количество наблюдений в анализе составляет 5 000, в Таблице 3.17 представлены статистические данные полученных результатов планового периода 2021-2024 гг.

Таблица 3.17 – Статистические данные результатов имитационного моделирования суммы затрат на мероприятия в плановый период 2021-2024 гг.

Показатель	Ед. изм.	2021	2022	2023	2024
Среднее значение суммы затрат на мероприятия	тыс. руб.	3 707 945	3 884 514	4 061 083	4 237 652
Среднее значение объема выбросов	тыс. тонн	502 393,8	478 698,2	455 002,7	431 307,1
Стандартное отклонение затрат на мероприятия	ед.	3,756246	3,849749	3,829791	3,791976
Стандартное отклонение объема выбросов	ед.	0,504088	0,516636	0,513958	0,508883

Согласно полученным данным если в 2021 году увеличить сумму региональных расходов на проведение мероприятий, направленных на уменьшение количества выброса загрязняющих веществ на 176 568 тыс. руб., то возможно уменьшить объем выбросов на 4-5%, а в случае увеличения сумм на мероприятия 706 275 тыс. руб., то планируемый объем выбросов загрязняющих веществ сократиться на 19,5% от среднего показателя за период 2015-2019 гг. На рисунке 3.14 представлен график средних сумм расходов на мероприятия в плановый период 2021-2024.

Таким образом, проанализировав результаты, полученные путем проведения имитационного моделирования показателей суммы затрат бюджета на мероприятия, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха на территории Челябинской области можно судить о том, что ежегодное увеличение финанси-

вания в части мероприятий способствуют снижению нагрузки атмосферного воздуха загрязняющими веществами.

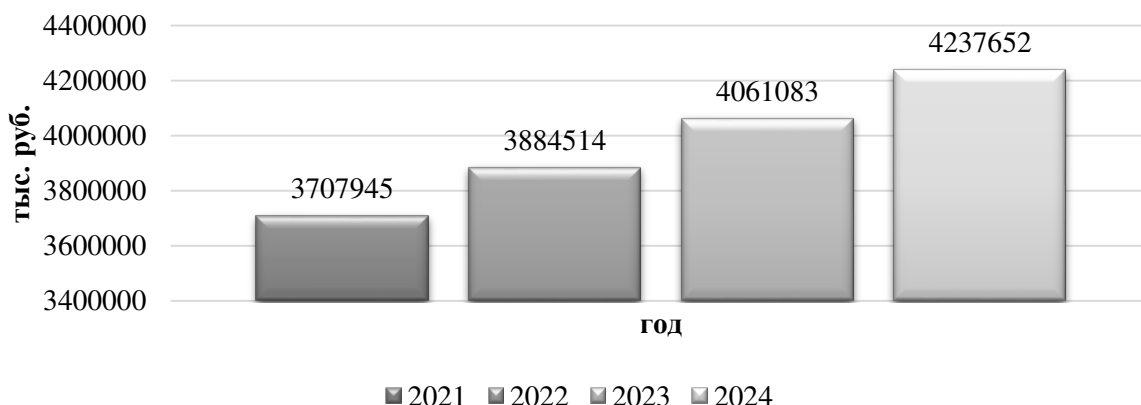


Рисунок 3.14 – Динамика роста средних сумм на расходы, направленные на мероприятия по улучшению качества воздуха в плановый период 2021-2024 гг.

Проведено аналогичное исследование влияния сумм штрафов, взысканных с промышленных предприятий за нарушение экологических норм, по результату которого собраны статистические данные (Таблица 3.18).

Таблица 3.18 – Статистические данные результатов имитационного моделирования суммы штрафов на мероприятия в плановый период 2021-2024 гг.

Показатель	Ед. изм.	2021	2022	2023	2024
Среднее значение суммы штрафов	тыс. руб.	3 210	4 280	5 350	6 420
Среднее значение объема выбросов	тыс. тонн	518 777,2	493 700,1	468 619	443 536,5
Стандартное отклонение штрафов	ед.	7,082267	7,121975	6,909564	7,036631
Стандартное отклонение объема выбросов	ед.	165,99	166,93	161,95	164,93

Согласно полученным данным если с 2021 года изменить систему штрафов и/или увеличивать их сумму в двое вплоть до 2024 года, то возможно уменьшить объем выбросов загрязняющих веществ в 2021 году на 4,6%, 2022 году – 9,2 %, 2023 – 13,8 %, 2024 году – 18,44% в сравнении с средним объемом выброса загрязняющих веществ за период 2015-2019 гг. На рисунке 13.15 представлена динамика роста сумм штрафов за нарушение экологических норм промышленными предприятиями в плановый период с 2021 по 2024 годы.

Увеличение суммы штрафных санкций имеет положительное влияние на улучшение качества воздуха на территории Челябинской области, чем серьезнее последствия для промышленных предприятий за нарушение установленных норм, тем больше их заинтересованность приобретать и улучшать технологию производства, в процессе работы которой сократиться количество производимых токсинов.

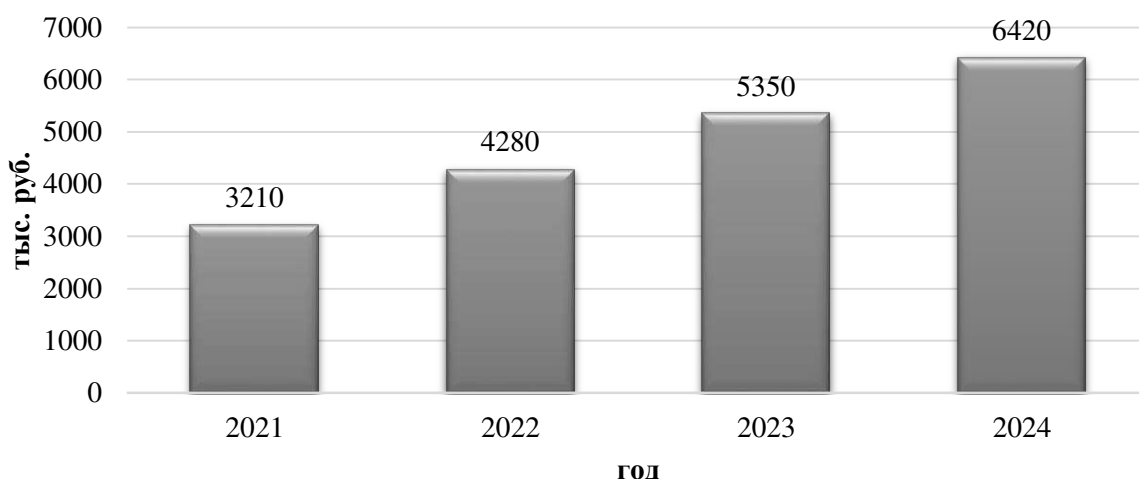


Рисунок 3.15 – Динамика роста сумм штрафов в период с 2021 по 2024 гг.

Увеличение суммы затрат на проведение мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха и суммы штрафов, накладываемых и взыскиваемых с промышленных предприятий за нарушение установленных экологических норм, имеет положительный эффект на объем производимых выбросов. Динамика объема выбросов от промышленных предприятий в плановый период 2021-2024 гг. будет иметь представлена на Рисунок 3.16.

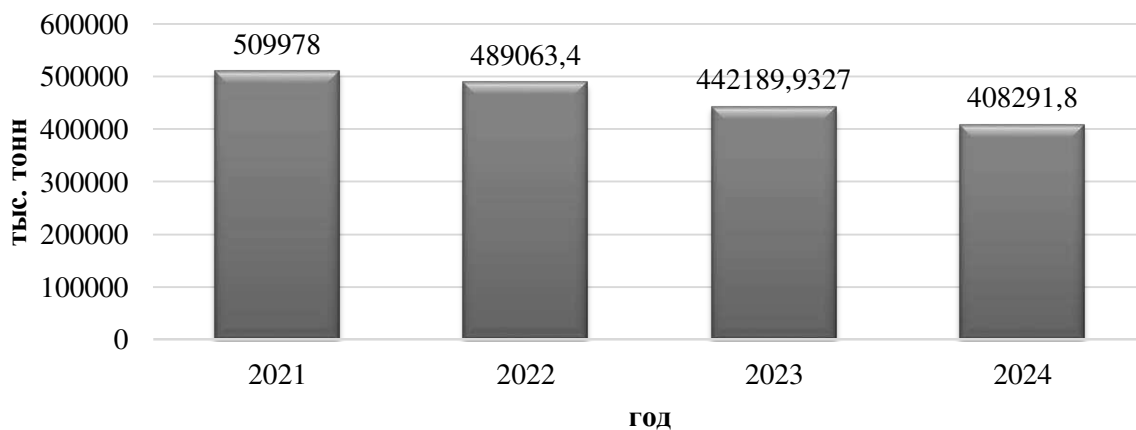


Рисунок 3.16 – Динамика объема выбросов от промышленных предприятий в плановый период 2021-2024 гг.

Таким образом, в случае увеличения суммы затрат на мероприятия на 19,5%, а суммы штрафных санкций за нарушения требований экологических норм на 18,44% возможно уменьшить сумму выбросов загрязняющих веществ на территории субъекта до 408 291,8 тыс. тонн, что на 24,93% меньше, чем сумма среднего значения объема выбросов за период 2015-2019 гг.

Проведем анализ возможности улучшения экологической обстановки на территории Челябинской области в части загрязнения атмосферного воздуха на 50% в период до 2030 года. Статистика результатов имитационного моделирования показателей сумм затрат и штрафов представлена в Таблице 3.19

Таблица 3.19 – Статистические данные результатов имитационного моделирования показателей сумм штрафов и затрат в плановый период 2021-2030 гг.

Годы	Штрафы		Затраты на мероприятия		Объем выбросов	
	Среднее, тыс. руб.	Стандартное отклонение	Среднее, тыс. руб.	Стандартное отклонение	Среднее, тыс. тонн	Стандартное отклонение
2021	3 210	7,082267	3 707 945	3,756246	509 978	85,32718
2022	4 280	7,121975	3 884 514	3,849749	489 063,4	83,63813
2023	5 350	6,909564	4 061 083	3,829791	442 189,9	83,63815
2024	6 420	7,036631	4 237 652	3,791976	408 291,8	84,57039
2025	6 741	7,069158	4 385 970	3,815741	386 832,2	85,75535
2026	7 061	6,948118	4 534 288	3,756925	365 374,6	84,3006
2027	7 383	7,006	4 682 605	3,788723	343 908,4	84,99867
2028	7 704	6,921028	4 830 923	3,820334	322 449,2	83,95717
2029	8 025	6,971393	4 979 241	3,776221	300 987,1	84,56727
2030	8 346	7,018083	5 127 559	3,747492	279 525	85,14173

Полученные результаты говорят о том, что постепенное увеличение суммы штрафов за нарушение экологических норм в треть и суммы затрат на мероприятия в области охраны атмосферного воздуха на 43,2% в целом за рассматриваемый период (2021-2030 гг.) приведет к снижению объема выбросов на территории региона на 48,58 %. На рисунке 13.17 представлена динамика объема выброса загрязняющих веществ промышленными предприятиями в плановый период с 2021 по 2024 годы.



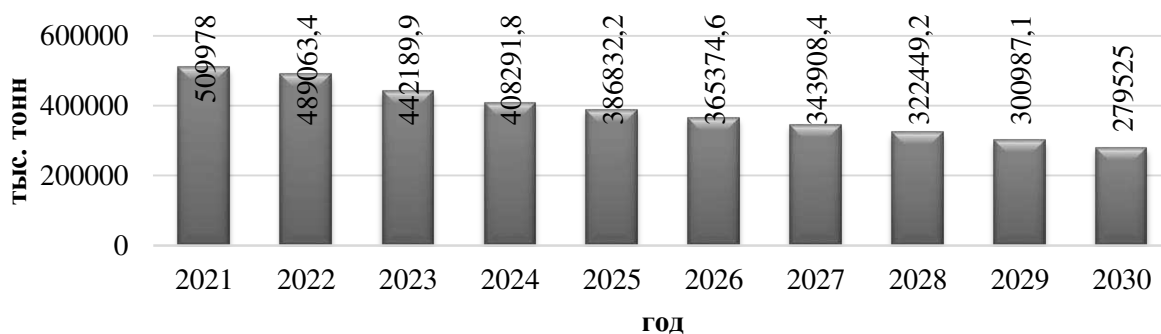


Рисунок 3.17 – Динамика объема выброса загрязняющих веществ промышленными предприятиями в плановый период с 2021 по 2024 гг.

Увеличение суммы затрат на мероприятия по обеспечению экологической безопасности в области загрязнения атмосферного воздуха, направлено на модернизацию и внедрение новых технологий в работу промышленных предприятий, которые в процессе своей деятельности будут производить меньшее количество токсичных веществ и тем самым сократиться совокупный объем выбросов на территории Челябинской области. Увеличение штрафов за нарушение экологических норм, в частности связанных с загрязнением воздуха в свою очередь заставит предприятия вкладывать собственные средства в разработку и внедрение более новых и «чистых» технологий в процесс работы производства, что также положительно скажется на совокупном объеме выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Выбросы загрязняющих веществ в процессе эксплуатации транспортных средств значительно ниже, чем выбросы от стационарных источников, но тем не менее имеют значимый вес, в общей доле загрязнения воздуха.

Основной фактор, который влияет на увеличение объема выбросов от транспорта, является увеличение численности населения, а также получаемый ими доход. На рост фактора численности населения силами муниципальной власти повлиять невозможно, но возможно оказать влияние на другие не менее значительные факторы: количество транспортных средств, количество доступного общественного транспорта.

В имитационной модели рассматривались факторы: количество транспортных средств, количество доступного общественного транспорта, количество наблюдений в выборке составило 5 000, регрессионное уравнение имело вид:  $0,000586x - 461,195$ .

В результате анализа первого фактора, а именно «количество транспортных средств» собраны статистические данные, которые представлены в Таблице 3.20. Таблица 3.20 – Статистические данные имитационного моделирования количества транспортных средств

Количество транспортных средств		Объем выбросов	
Среднее	1 255 128	Среднее	274,3098
Стандартная ошибка	0,028722	Стандартная ошибка	1,68
Стандартное отклонение	2,030986	Стандартное отклонение	0,00119

Так, согласно результатам проведенного анализа, в среднем за рассматриваемый период 2015-2019 гг. количество транспортных средств на территории Челябинской области составило 1 255 128, которые в процессе своей работы производили 274 тыс. тонн выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Увеличение числа транспортных средств имеет прямую зависимость с количеством произведенных выбросов, т.е. в случае уменьшения количества транспорта, качество воздуха станет лучше, о чем свидетельствует проведенный имитационный анализ количества транспортных средств в период с 2021-2024 гг. Статистические данные, полученные в результате анализа представлены в Таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Статистические данные имитационного моделирования количества транспортных средств в период с 2021-2024 гг.

Показатель	Ед. изм.	2021	2022	2023	2024
Среднее значение количества транспортных средств	шт.	1 230 054	1 204 951	1 179 848	1 154 745
Среднее значение объема выбросов	тыс. тонн	259,6	244,9	230,2	215,48
Стандартное отклонение количества транспортных средств	ед.	2,0299	2,0463	2,0360	2,0204
Стандартное отклонение объема выбросов	ед.	0,0019	0,0019	0,0019	0,0019

Из представленных в Таблице 3.21 можно сделать вывод о том, что в случае уменьшения количества транспортных средств в среднем до 1 230 054, то в 2021

году количество выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта может сократиться на 5,23%, по отношению к средней величине периода 2015-2019 гг. В случае если количество используемых транспортных средств на территории субъекта в 2024 году среднем составит 1 154 745, объем выбросов загрязняющих веществ сократится на 21,34% в сравнении со средним значением показателя 2015-2019 гг.

Количество общественного транспорта на территории Челябинской области оказывает значительное влияние на объем выбросов загрязняющих веществ от транспорта, на который в силах оказывать влияние местные органы власти. Зависимость рассматриваемого параметра и объема загрязнения воздуха является обратно, что говорит о том, что увеличение численности общественного транспорта ведет к сокращению количества производимых транспортными средствами выбросов загрязняющих веществ.

Проведем имитационное моделирование фактора «количество доступного общественного транспорта», количество наблюдений в выборке составило 5 000, регрессионное уравнение имело вид  $924,2107x - 0,54451$ .

Согласно данным статистики за 2015-2019 гг. проведено имитационное моделирование факторов количества общественного транспорта и объема выбросов. По результатам проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что в среднем за рассматриваемый период на территории области функционировало 1194 общественных транспорта, который в процессе эксплуатации производили в среднем 273,8 тыс. тонн выбросов загрязняющих веществ.

Проведенное аналогичное исследование для планового периода 2021-2024 гг. показало, что в случае увеличения количества общественного транспорта, можно сократить объем выбросов. Данные статистики, полученные в результате имитационного моделирования представлены в Таблице 3.22.

Таблица 2.22 – Статистические данные результатов анализа количества общественного транспорта в плановый период 2021-2024 гг.

Показатель	Ед. изм.	2021	2022	2023	2024
Среднее значение количества общественного транспорта	шт.	1 223	1 254	1 283	1 315
Среднее значение объема выбросов	тыс. тонн	258	241	225	207
Стандартное отклонение количества общественного транспорта	ед.	164,636	163,87	163,67	167,367
Стандартное отклонение объема выбросов	ед.	89,64	89,22	89,12	91,13

Согласно данных представленных Таблице 2.22, сделаны выводы о том, что при увеличении количества доступного общественного транспорта ежегодно начиная с 2021 года до 2024 на 2-2,5%, можно сократить объем выбросов загрязняющих веществ на территории субъекта к 2024 до 24,44%. В первый год на 5,7%, во второй год на 12%, в третий год на 17,87%.

Увеличение количества доступного общественного транспорта и уменьшение количества личного транспорта положительно влияет на улучшение качества атмосферного воздуха на территории области. Проведем имитационного моделирование данных факторов на плановый период 2021-2030 гг., количество наблюдений в выборке – 5 000. Статистические данные, полученные в результате анализа представлены в Таблице 2.23.

Таблица 2.23 – Статистические данные имитационного анализа факторов, оказывающих влияние на объем выбросов загрязняющих веществ в плановый период 2021-2023 гг.

Годы	Общественный транспорт		Личный транспорт		Объем выбросов
	Среднее, ед.	Стандартное отклонение	Среднее, ед.	Стандартное отклонение	Среднее, тыс. тонн
2021	1223	164,636	1 230 054	0,0019	258,8
2022	1254	163,87	1 204 951	0,00191	242,95
2023	1283	163,67	1 179 848	0,00193	227,24
2024	1315	167,367	1 154 745	0,00191	211,24
2025	1332	164,3109	1 135 918	0,00119	201,5
2026	1351	163,207	1 117 090	0,01186	190,92
2027	1373	160,5805	1 098 263	0,00120	179,27
2028	1388	165,3539	1 079 436	0,01861	169,83
2029	1411	163,9809	1060608	0,00185	158,05
2030	1429	165,3189	1041781	0,00176	147,5

Согласно полученным статистическим данным в результате имитационного моделирования факторов: количество личных транспортных средств, количество доступного общественного транспорта на объем выбросов загрязняющих веществ полученные средние значения на плановый период 2021-2030 гг., можно сделать следующие выводы:

– постепенное уменьшение доли личных транспортных средств на 19,9% до 2030 года, позволит вдвое сократить объем выброса загрязняющих веществ;

– ввод в эксплуатацию нового общественного транспорта, за счет которого увеличится количество доступного общественного транспорта ежегодно на 2-2,5% от среднего количества имеющегося автотранспорта, позволит сократить объем выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств на 46,16 %, от среднего объема выбросов за период 2015-2019 гг.

На рисунке 3.19 представлена динамика объема выбросов загрязняющих веществ, производимых в процессе эксплуатации транспортных средств за плановый период 2021-2030 гг.

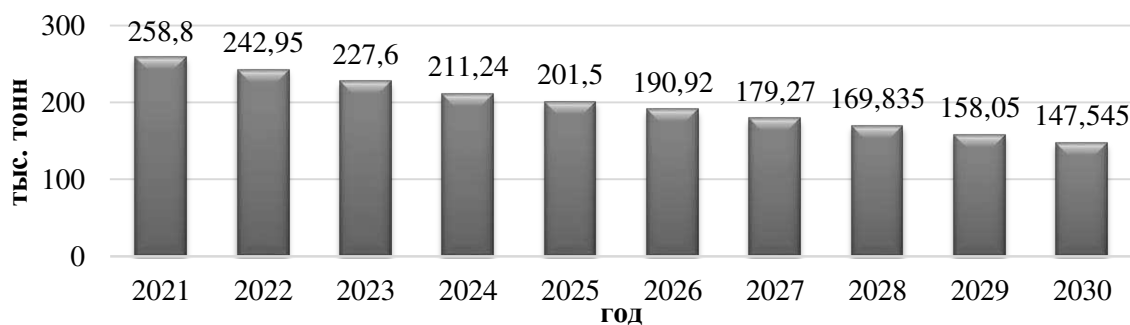


Рисунок 3.19 – Динамика объема выбросов от автотранспорта на плановый период 2021-2030

В процессе работы личного автотранспорта производятся выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух и чем больше таких автомобилей, тем больше уровень загрязнения. С ростом количества личного автотранспорта, увеличивается загруженность автодорог, что влечет к более длительному процессу работы автотранспорта (растет время, потраченное в пути). Для, того что бы исправить сложившуюся ситуацию необходимо как показали результаты имитационного моделирования увеличить количество доступного общественного транспор-

та, т.е. увеличится количество мест для пассажиров, что сократит давление в пиковые часы и предоставит жителям более комфортные условия.

Проведенный имитационный анализ для факторов, оказывающих влияние на объем выбросов загрязняющих веществ от промышленных предприятий, которые в процессе своей деятельности производят токсичные вещества и транспортных средств, в ходе эксплуатации которых также выделяются вредные вещества, показал, что возможно уменьшить выбросы загрязняющих веществ (см. Рисунок 3.20).

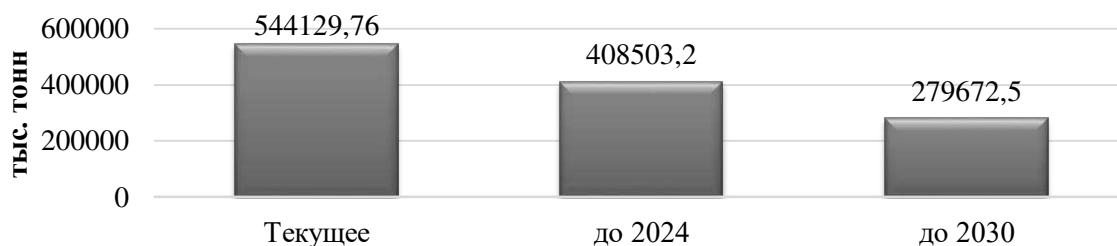


Рисунок 3.20 – Динамика объема выбросов загрязняющих веществ на территории Челябинской области

В случае применения соответствующих мер органами местного управления возможно уменьшить нагрузку на атмосферный воздух загрязняющими веществами на 24,92% до 2024 года и на 48,60 % до 2030 года.

За счет внедрения более инновационной системы экологического мониторинга можно получить:

- эффективный и своевременный контроль загрязнения атмосферного воздуха в Челябинской области;
- формирование экологического рейтинга разных районов области;
- оптимизация областного бюджета в части загрязнения атмосферного воздуха;
- контроль нарушений и система штрафов в рамках программы;
- эффективные результаты получения оперативной объективной информации о состоянии загрязнения атмосферного воздуха в Челябинской области, что обеспечит населению и органам исполнительной власти достоверную информацией о загрязнении атмосферного воздуха;

– ускорение процесса анализа полученных данных и использования этих данных при ведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.

### Выводы по третьему разделу

В современном мире чистый воздух городских пространств становится дефицитным природным ресурсом. В атмосферу из разных источников происходит выброс 188 различных вредных веществ, которые представляют серьезную опасность для жизни и здоровья людей. На территории Челябинской области и самого города размещено большое количество промышленных предприятий в процессе работы, которых ежедневно производится выброс вредных веществ в атмосферный воздух, кроме того на территории области зарегистрировано большое количество автомобилей, которые также наносят вред атмосферному воздуху, в связи, с чем проблема загрязнения атмосферного воздуха на территории Челябинской области является актуальной. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха в концепции Smart city, подразумевает использование инновационных технологии в процессе мониторинга, что позволит более эффективно производить сбор информации о текущем состоянии качества атмосферного воздуха и анализировать его. Данная эффективность будет способствовать своевременному принятию решений и как следствие уменьшению концентрации загрязняющих веществ. Проведенные расчет показали, что если увеличивать региональные расходы на мероприятия, в части улучшения атмосферного воздуха, т.е. вкладывать деньги в совершенствование более «чистых» технологий промышленных предприятий, увеличивать количество экологичного общественного транспорта, то объем загрязняющих веществ сократиться. За счет своевременного и оперативного сбора информации, административные органы смогут оптимизировать бюджет в части затрат на мероприятия по охране атмосферного воздуха. А контроль нарушений и система штрафов в рамках программы будут способствовать заинтересованности промышленных предприятий в самостоятельном финансировании средств на улучшение и модернизацию технологий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Понятие современного «Smart city» строиться не только на технологиях как главном факторе развития. Прежде всего, умными считаются, города, в которых созданы условия для роста человеческого капитала. Получается, что чем больше возможностей для роста человеческого капитала и чем благоприятнее сама среда, тем «умнее» город в целом.

Основной задачей и направлением в концепции «Smart city» является «Умная среда» («Smart environment»), которая направлена на совершенствование и модернизацию таких направлений как: энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, защита окружающей среды, экономия ресурсов.

В условиях растущего антропогенного воздействия на природу остро встает не только вопрос борьбы за здоровье человека и сохранение природной среды, а уже более сложный вопрос о стратегии этой борьбы, об оптимальных возможностях использования ресурсов окружающей среды.

Большая проблема современных городов, основная деятельность которых направлена на производство сырья – загрязнение атмосферного воздуха. Так как при работе крупных производственных предприятий вырабатывается большое количество вредных веществ, которые загрязняют окружающую среду города или всего региона.

Система экологического мониторинга в рамках концепции «Smart city», при помощи постоянного и эффективного отслеживания состояния атмосферного воздуха, способствует решению сложившейся проблемы, в особенности в таких областях как Челябинская. В силу того, что на территории Челябинской области существует огромное количество больших производственных предприятий, который наносят огромный вред, как окружающей среде, так и населению.

Вывод 1: На современном этапе развития городов преобразование «индустриальных» городов в «умные» является общемировым трендом, а также достижимой перспективой для российских городов в частности города Челябинска.



Вывод 2: Уровень экологической обстановки является одной из основных проблем, которую пытаются решить в рамках концепции Smart City.

Вывод 3: Проблематика всех городов различна в связи с этим инновационные программы, направленные на улучшение экологии и качества жизни населения универсальны.

Вывод 4: Экологическая обстановка в г. Челябинске находится на «низком» уровне, технологии анализа, сбора и обработки данных не совершенны, что затрудняет процесс и качество предоставляемой информации.

Вывод 5; Внедрение системы экологического мониторинга в рамках концепции Smart City улучшит эффективности предоставления актуальной информации и своевременного реагирования на возникающие угрозы.

Целью выпускной квалификационной работы была возможности применения инновационных систем по очистке атмосферного воздуха в рамках концепции Smart city и оценка эффективности внедрения системы экологического мониторинга на территории Челябинской области. Для этого был исследован мировой и отечественный опыт применения современных технологий, которые помогли решить проблемы экологической нагрузки в городах, в частности загрязнение атмосферного воздуха и проанализированы факторы, оказывающие влияние на объем выбросов загрязняющих веществ.

На основании проведенных расчетов в третьей главе, можно сделать вывод о том, что внедрение системы экологического мониторинга на территории Челябинской области может способствовать снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха на 24,92% до 2024 года и на 48,60 % до 2030 года.

Таким образом, задачи выпускной квалификационной работы выполнены, поставленные цели достигнуты. Настоящая работа имеет практическую ценность, так как в ней рассмотрена возможность улучшения экологической обстановки на территории области, которая положительно влияет на состояние окружающей среды и здоровья населения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 10 января 2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>. – КонсультантПлюс. – (Дата обращения 21.09.2020).
2. Аборчи, А.В. Уровень жизни как базовая функция государственного управления / А.В. Аборчи, Т.Н. Загоруйко // Вестник института экономических исследований. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38206533>. – (Дата обращения 29.08.2020).
3. Абрахманова, Г.И. Индикаторы цифровой экономики: 2018: Статистический сборник / Г.И. Абрахманова, К.О. Вишняковский, Г.Л. Волкова, Л.М. Гохберг и др. – М.: НИУ ВШЭ, 2018. – 268 с.
4. Акопов, А.С. Имитационное моделирование: учебник / А.С. Акопов. – М.: Юрайт, 2017. – 389 с.
5. Альбино, В. Умные города: определения, размеры, эффективность и инициативы / В. Альбино, Ю. Берарди, Р.М. Данджелико // Журнал городских технологий. – 2015. – №22. – С. 3-21.
6. Альверти, М.Н. Человекоцентричный подход к анализу концепции умного города / М.Н. Альверти, К. Фемистоклеус, П.С. Кириакидис, Д.Г. Хаджимитсис // Успехи в науках о земле. – 2018. – №45. – С. 305-320.
7. Аргунова, М.В. Модель «Умного города» как проявление нового технологического уклада / М.В. Аргунова // Наука и школа. – 2016. – № 3. – С. 14-23.
8. Баккарн, Б. Роль городских лабораторий в умном городе / Б. Баккарн, Д. Шуурман, П. Механ, Л. Де Марез // Инновации для устойчивой экономики. – 2014.
9. Баят, Б. Оптимальные стратегии поиска для локализации источников загрязнения / Б. Баят, Н. Краста, Х. Ли // интеллектуальные работы и системы. – 2016. – № 9(14). – С. 1801-1807.

10. Бегич, Я.Э. Концепция Smart City как стратегия управления городской инфраструктурой / Я.Э. Бегич, П.А. Шерстобитов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – 8(59). – С. 27-40.
11. Бернарди, У. Разъяснения новых интерпретаций концепции устойчивого развития / У. Бернарди // Устойчивые города и общество. – 2013. – №8. – С. 72-78.
12. Боев, В.Д. Имитационное моделирование систем: учебное пособие / В.Д. Боев. – М.: Юрайт, 2017. – 253 с.
13. Бойкова, М. «Умная» модель развития как ответ на возникающие вызовы городов / М. Бойкова // Форсайт. – 2016. – № 3. – С. 65-75.
14. Бринчук, М.М. Экологическое право: Учебник / М.М. Бринчук. – М.: Юристъ, 2003. – 206 с.
15. Веселова, А.О. Перспективы создания «умных городов» в России: систематизация проблем и направлений их решения / А.О. Веселова, А.Н. Хацкелевич, Л.С. Ежова // Вестник Пермского университета. Экономика. – 2018. – №1(13). – С. 75-86.
16. Волков, А.А. О задачах создания эффективной инфраструктуры среды обитания / А.А. Волков, Д.Е. Намиот, М.А. Шнепс-Шнеппе // Международный журнал открытых информационных технологий. – 2013. – 7(1). – С. 1-10.
17. Воронич, С.С. Мониторинг атмосферных загрязнений урбанизированных территорий / С.С. Воронич. – М.: Наука, 2013. – 127 с.
18. Вукович, Н.А. «Зеленая» экономика: определение и современная эколого-экономическая модель / Н.А. Вукович // Вестник Уральского Федерального Университета «Экономика и менеджмент». – 2018. – №17(1). – С. 128-145.
19. Гавалас, Д. Умные города: последние тенденции, методологии и приложения / Д. Гавалас, П. Никополитидис, А. Камеас, Гл. Гумопулос // Беспроводная связь и мобильные вычисления. – 2017. – №1-2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.hindawi.com/journals/wcmc/2017/7090963/](http://www.hindawi.com/journals/wcmc/2017/7090963/). – (Дата обращения 29.08.2020).

20. Голдсмит, С. Отзывчивый город: вовлечение сообществ с помощью интеллектуального управления данными / С. Голдсмит, С. Кроуфорд // Джосси-Басс. – 2014. 208 с.
21. Голенкова, А.А. Будущее за умными городами / А.А. Голенкова, С.И. Шагбазян, Н.Р. Степанова // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2017. – №1(8). – С. 6-8.
22. Горюноква, А.А. Современное состояние и подходы к разработке систем мониторинга загрязнения атмосферы / А.А. Горюноква // Известия тульского государственного университета. Технические науки. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21208960>. – (Дата обращения 10.11.2020)
23. Глебова, И.С. Возможности реализации концепции «умного города»: практика российских городов / И.С. Глебова, Я.С. Ясницкая // Экономика и предпринимательство. – 2017. – №1(3). – С. 232-235.
24. Груздева, М.Н. Концепция «умных» городов: развитие и тренды цифровых трансформаций / М.Н. Груздева // Информационные ресурсы России. – 2017. – № 4. – С. 33-36.
25. Гультияев, А.К. Имитационное моделирование в среде Windows: практическое пособие / А.К. Гультияев. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 400 с.
26. Дамери, Р. Внедрение умного города, прогресс в области информационных технологий / Р. Дамери // Springer International Publishing, 2017. – 154 с.
27. Д’Амато Д. Зеленая биоэкономика: сравнительный анализ устойчивого развития / Д. Д’Амато, Н. Дросте, Б. Аллен, М. Кеттунен, К. Ляхтинен, Дж. Корхонен, А. Топпинен // Журнал чистого производства. – 2017. – №168. – С. 716-734.
28. Двинский, М. Умный город. «Умная» инфраструктура, сети и коммуникации / М. Двинский, И. Дробышев, Н. Непомнящая, Т. Павлюченко // Вестник Сибирского федерального университета. Гуманитарные и социальные науки. – 2017. – №12. С. 1869-1875.

29. Девятков, В.В. Имитационное моделирование в среде моделирования: учеб. Пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 283 с.
30. Джиффинджер, Р. Умные города – Рейтинг европейских городов среднего размера / Р. Джиффинджер, К. Фертнер, Х. Крамар, Р. Ралашек, Н. Пиклер-Миланович, Э. Мей-Джерс // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www/smart-cities.eu/download/smart\\_cities\\_final\\_report.pdf](http://www/smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf). – (Дата обращения 21.08.2020).
31. Дрожжинов, В.И. Умные города: модели, инструменты, рэнкинги и стандарты / В.И. Дрожжинов, В.П. Куприновский, Д.Е. Намиот, С.А. Синягов // Международный журнал Открытые информационные технологии. – 2017. – 5(№3). – С. 19-47.
32. Емельянов, А.А. Имитационное моделирование и экономических процессов: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности «Прикладная экономика (по областям)» / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Думма; под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 415 с.
33. Есаулов, Г.В. «Умный» город в цифровой экономике / Г.В. Есаулов // Архитектура и строительство. – 2017. – №4. – С. 68-74.
34. Зайцева, Н.В. Методологические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач Федерального проекта «Чистый воздух» / Н.В. Зайцева // Анализ риска здоровью. – 2019. – №3. – С. 4-17.
35. Запорожец, О.Н. Антропология цифрового города: к вопросу о выборе метода / О.Н. Запорожец, Е.Г. Лапина-Кратасюк // Этнографическое образование. – 2015. – №4. – С. 41-54.
36. Зубаревич, Н. Страна городов: теория и практика городской модернизации / Н. Зубаревич // М.: Стимулы, парадоксы, провалы: Город глазами экономистов. – 2015. – С. 20-34.

37. Ильичев, В.А. Биосферная совместимость: технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека / В.А. Ильичев // М.: Либроком. – 2011. – С. 112–114.
38. Индикаторы цифровой экономики: 2018: статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневский, Г.Л. Волкова, Л.Г. Гохберт и др. – М.: НИУ ВШЭ, 2018. – 268 с.
39. Инфимовская, С.Ю. Концепция Smart – City как основа политического процесса / С.Ю. Инфимовская // [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.sworld.com.ua/konfer37/460.pdf>. – (Дата обращения 10.09.2020)
40. Инюцын, А.Ю. Умные технологии становятся доступнее для городов / А.Ю. Инюцын // Практика муниципального управления. – 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://interlight-building.ru.messefrankfurt.com/content/dam/interlightmoscow/documents/b/minenergo-smart-cities.pdf>. – (Дата обращения 10.09.2020).
41. Ислам, М.С. Восприятие окружающей среды при быстром росте населения и урбанизации: на примере города Дакка / М.С. Ислам, М.М.П. Рана, Р. Ахмед // Окружающая среда, развитие и устойчивость. – 2014. – №16(2). – С. 443-453.
42. Кавада, М. Умные города: противоречивые определения и нечеткие меры / М. Кавада, Д.В. Хант, К.Д. Роджерс // Мир. Форум устойчивого развития. – 2015. – С. 1-12.
43. Калинин, Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах / Н.А. Калинин. – Пермь: ПГНИУ, 2015. – 308 с.
44. Камолов, С.Г. Технологии будущего для «умных» городов / С.Г. Камолов, А.М. Корнеева // Вестник московского областного университета. Экономика. – 2018. – №2. – С. 100-114.
45. Каталевский, Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие / Д.Ю. Каталевский // Изд.: Издательский

дом «Дело» РАНХиГС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://katalevsky\\_osnovy\\_imitatsionnogo\\_modelirovania](http://katalevsky_osnovy_imitatsionnogo_modelirovania). – (Дата обращения 10.10.2020).

46. Кишеева, И.А. Концепции «Городов будущего» как пути решения проблем урбанизированных городов / И.А. Кишеева // Новые идеи нового века: Материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2017. – №1. – С. 121-127.

47. Кобелев, Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем: учебное пособие / Н.Б. Кобелев. – М.: Инфра-М, 2014. – 368 с.

48. Комнинос, Н. Интеллектуальные города: измеряемая геометрия пространственного интеллекта / Н. Комнинос // Международный журнал интеллектуальных знаний. – 2014. – №3(3). – С. 172-188.

49. Комнинос, Н. Эпоха интеллектуальных городов: умная среда и инновационные стратегии для всех / Н. Комнинос // Рутледж, 2015. – 278 с.

50. Комплексный доклад об экологической ситуации в Челябинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.mineso174.ru>. – Министерство экологии Челябинской области. – (Дата обращения 17.10.2020).

51. Коськин, А.В. Базовые принципы построения автоматизированной системы управления безопасным «умным городом» и механизмы их реализации / А.В. Коськин, О.П. Архипов, О.А. Иващук, О.В. Пилипенко, О.А. Савинова // Строительство и реконструкция. – 2012. – №2(40). – С. 63-68.

52. Крамерс, А. Умные устойчивые города –изучение ИКТ для снижения потребления энергии в городах / А. Крамерс, М. Хёйнер, Н. Левехаген, Дж. Вангель // Экологическое моделирование и программное обеспечение. – 2014. – №56. – С. 52-62.

53. Куприяновский, В.П. Стандарты умных городов, Интернета вещей и Больших данных. Соображения по практическому использованию в России / В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот // Международный журнал открытых информационных технологий. – 2016. – №2(4). – С. 34-40.

54. Латыпов, Н.А. Принципы формирования умных городов в России / Н.А. Латыпов, Ю.Н. Поповский, В.И. Голованов // М.: Московский политехнический университет. – 2017. – С. 100-104.
55. Латышенко, К.П. Экологический мониторинг: учебник / К.П. Латышенко. – М.: Юрайт, 2017. – 375 с.
56. Лукасевич, И.Я. Анализ финансовых операций: Методы, модели, техника вычислений: учебное пособие для вузов по экон. специальностям / И.Я. Лукасевич; ред. Л.Н. Вылегжанина. – М.: Финансы: ЮНИТИ, 1998. – 400 с.
57. Лускатова, О.В. Оценка экономической устойчивости горного предприятия при управлении комплексом рисков / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dlib.rsl.ru/01002748676>. – (Дата обращения 03.09.2020)
58. Лычкина, Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие / Н.Н. Лычкина. М.: ИНФРА-М, 2012. – 254 с.
59. Макаров, В.Л. Имитационное моделирование системы «умный город»: концепция, методы и примеры / В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Г.Л. Бекларян, А.С. Аколов // национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2019. – №2(15). – С. 200-224.
60. Максимов, С.Н. Умный город: к вопросу о понятии и концепции / С.Н. Максимов // Проблемы современной экономик. – 2017. – №1 (61). – С. 117-120.
61. Мингалева, Ж.А. Применение концепции «умных» городов для решения проблем урбанистики / Ж.А. Мингалева // Инновационное развитие экономики: тенденции и перспективы. – 2015. – №1. – С. 87-94.
62. Михайлов, Г.А. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: учеб. пособие / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
63. Мониторинг развития информационного общества в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/figure/anketa1-4.html](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/figure/anketa1-4.html). – Федеральная служба государственной статистики. – (Дата обращения 03.09.2020).



64. Мора, Л Первые два десятилетия исследований «умных» городов: библиометрический анализ / Л. Мора, Р. Боличи, М. Дикин // Журнал городских технологий. – 2017. – №24(1). –С. 3-27.
65. Муравьёва, Н.Н. Умный город «с нуля»: факторы успеха / Н.Н. Муравьёва, Е.Б. Мудрова // Цифровая экономика и Индустрия 4.0: форсайт Россия. – 2020. – С. 186-196.
66. Намиот, Д.Е. Об отечественных стандартах для Умного города / Д.Е. Намиот, М.А. Шнепс-Шнеппе // Международный журнал открытых информационных технологий. –2016. – №7(4). – С. 32-37.
67. Никушина, А.Н. Концепция «умный город»: теоретические постулаты и особенности реализации / А.Н. Никушина, А.Д. Сарафанов, А.С. Анастасова, А.С. Павлова// Гуманитарные научные исследования. – 2016. – №10(62). С. 353-355.
68. Овчинников, А. Введение в проблематику Смарт Сити / А. Овчинников // Городские тактики. Городские теории. Смарт Сити. – 2015. – №7. – С. 3-7.
69. Павлов, А.А. Формирование концепции «умный город» / А.А. Павлов, А.А. Бесчасная // Северо-западный институт управления РАНХиГС. – 2019. – 2(39). – С. 156-158.
70. Павловский, Ю.Н. Имитационное моделирование / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 236 с.
71. Пилипенко О.В. Структура автоматизированной системы управления «умным городом» с высоким уровнем безопасности и качества жизни // О.В. Пилипенко, О.П. Архипов, О.А. Иващук, А.В. Коськин, О.А. Савина, В.И. Загрядцкий // Фундаментальные науки и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – №2. – С. 142-147.
72. Приоритетные направления внедрения технологий умного города российских городах: Пространственное развитие. Экспертно-аналитический доклад. – М.: Центр стратегических разработок, 2018. – 178 с.

73. Разяпов, А.З. Методы контроля и системы мониторинга загрязнения окружающей среды / А.З. Разяпов. – М.: Изд. дом МИСиС, 2011. – 220 с.
74. Рубинштейн, Р.Ю. Моделирование и метод Монте-Карло / Р.Ю. Рубинштейн, Д.П. Круз. – Хобокен: Джон Вили и сыновья, 2016. – 396 с.
75. Рубинштейн, Р.Ю. Последовательные методы Монте-Карло для подсчета и оптимизации/ Р.Ю. Рубинштейн, А. Риддер, Р. Вайсман. . – Хобокен: Джон Вили и сыновья, 2014. – 208 с.
76. Рыбина, Е.Г. Организационные и экономические методы развития «умных городов» / Е.Г. Рыбина // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2015. – №10(82). – С. 43.
77. Снетков, Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов / Н.Н. Снетков. – М.: Изд. центр ЕАОИ, 2008. – 228 с.
78. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебник / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Юрайт, 2012. – 343 с.
79. Сорокоумова, Т.В. Выявление основных принципов для формирования концепции «Умного города» / Т.В. Сорокоумова, К.А. Будожкина, Р.А. Казарян, Ю.О. Купка, А.С. Улямаев // Инженерный вестник Дона. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36651518>. – (Дата обращения 10.10.2020)
80. Умные города XXI века: возможности и риски сматр-технологий в городском ребрендинге // М.: Международные отношения. – 2018. – С. 6.
81. Умные города и сообщества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// https://ec.europa.eu/info/index\\_en](http://https://ec.europa.eu/info/index_en). – European Union Innovation Partnership on Smart Cities and Communities. – (дата обращения 25.09.2020).
82. Пономаренко, О.И. Экологический мониторинг и регулирование воздействия на окружающую среду: учебно-методическое пособие / Пономаренко О.И., Бейсембаева Л.К., Танашева М.Р. – Алматы: КазНУ, 2015. – 210 с.
83. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 № 1632-р) //

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>.

84. Пушилина, Ю.Н. Организация и формирование искусственной среды на основе комплексного экологического подхода / Ю.Н. Пушилина // Технические науки. – 2016. – №7(2). – С. 145-151.

85. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://issek.hse.ru/rirr2019>. – Институт статистических исследований и экономики знаний. – (Дата обращения 20.09.2020).

86. Система экологического мониторинга GOST [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russiasmartcity.ru> – Банк решений умного города. – (Дата обращения 10.09.2020).

87. Смарт-чувство. Умный город. Мониторинг качества наружного воздуха [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.smart-sense.hr/smart-city#first\\_page](http://www.smart-sense.hr/smart-city#first_page). – (Дата обращения 21.09.2020).

88. Текущие затраты на охрану окружающей среды в Челябинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru> – Федеральная служба государственной статистики Челябинской области. – (Дата обращения 15.10.2020).

89. Технологии для умных городов. Доклад / СПб.: Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад». – – [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://www.csr-nw.ru/files/publications/doklad\\_tehnologii\\_dlya\\_umnyh\\_gorodov.pdf](http://www.csr-nw.ru/files/publications/doklad_tehnologii_dlya_umnyh_gorodov.pdf). – (Дата обращения 10.11.2020)

90. Титов, А. Aerostate: качество воздуха как новая погода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://climaterussia.ru/chistye-tehnologii/aerostate-kachestvo-vozduha-kak-novaya-pogoda>. (дата обращения 20.09.2020).

91. Тихомирова, О.Г. Управление проектом: комплексный подход и системный анализ / О.Г. Тихомирова. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 301 с.

92. Тихонова, И.О. Экологический мониторинг атмосферы / И.О. Тихонова, В.В. Тарасов, Н.Е. Кручинина. – СПб.: Форум, Инфра-М, 2015. – 136 с.
93. Устойчивые города [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sustainablecities.eu/>. – (Дата обращения 21.08.2020).
94. Феррара, Р. Умный город и зеленая экономика в Европе: критический подход / Р. Феррара // *Energies*. – 2015. – №8(6). – 4724-4734.
95. Холландс, Р. Города станут умными? Умный, прогрессивный или предпринимчивый? / Р. Холландс // *Город*. 2008. – 12(3). – С. 303-320.
96. Холлис, Л. Города вам на пользу. Гений мегаполиса / Л. Холлис. – М.: Стрелка пресс, 2015. – 432 с.
97. Чикуров, Н.Г. Моделирование систем: учеб. пособие/ Н.Г. Чикуров. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 398 с.
98. Шах, Дж. Обзор инфраструктуры умного города на основе тематического исследования Нью-Йорка / Дж. Шах, Дж. Котари, Н. Доши // *Gandhinagar, India, Pandit Deendayal Petroleum University*. – 2019. – С. 702-705.
99. Шелтон, Т. «Фактически существующий умный город» / Т. Шелтон, М. Зук, А. Уиг // *Кембриджский журнал регионов, экономики и общества*. – 2015. – №8(1). – С. 13-25.
100. Шнепс-Шнеппе, М.А. Как стоит умный город Часть 2. Организация «oneM2M» как прототип в области стандартов умного города / М.А. Шнепс-Шнеппе // *Международный журнал открытых данных*. – 2016. №4(2). – С. 11-17.
101. Щапова, Л.В. Автоматизированная система поиска источника загрязнения атмосферы / Л.В. Щапова // *Информационные технологии и автоматизация управления*. – 2018. – С. 173-178.
102. Щербакова, Д.В. Кризис информационного общества как толчок к формированию культуры потребления / Д.В. Щербакова // СПб.: Материалы научно-практической конференции. – 2015. – С. 962-964.

103. Щербинин, А.И. «Умные города» – тренд XXI века: вызовы времени и российские практики / А.И. Щербинин // Праксема. – 2018. – №3(17). – С. 179-191.
104. Юцявичюс, Р. Цифровое измерение умного города: критический анализ / Р. Юцявичюс, И. Паташене, М. Паташюс // Процедуры – Социальные и поведенческие науки. – 2014. – № 156. – С. 146-150.
105. Якубов, Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений в Москве / Х.Г. Якубов // М.: Стагирит-Н. – 2005. – С. 14-16.
106. Ян, С. Исследования по построению цифровой интеллектуальной системы управления городом / С. Ян // Международный журнал Гибридные информационные технологии. – 2014. – №7(5). – С. 285-294.
107. Ясовеев, Г. Экологический мониторинг и экологическая экспертиза: учебное пособие / Г. Ясовеев. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 304 с.
108. Ярош, Н.Н. Умный город – город толерантности / Н.Н. Ярош // Экономический журнал. – 2014. – №2. – С. 76-84.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Компоненты стандарта «Умного города» Минстроя России

Городское управление	Умное ЖКХ	Инновации для городской среды	Умный городской транспорт	Интеллектуальные системы городской безопасности	Интеллектуальные системы ЭКО	Инфраструктура сетей связи	Туризм и сервис
Цифровая платформа вовлечения граждан в решение вопросов городского развития («Активный гражданин»)	Внедрение интеллектуального учета коммунальных услуг	Эффективное городское освещение, включая архитектурную и художественную подсветку	Создание системы администрирования городского парковочного пространства	Создание системы интеллектуального видеонаблюдения	Автоматизация системы управления обращениями с твердыми коммунальными отходами	Создание единой городской инфраструктуры сетей связи	Электронная карта жителя и гостя города
«Цифровой двойник города»	Внедрение цифрового модуля управления объектами коммунального хозяйства	Автоматизированный контроль за работой дорожной и коммунальной техники	Внедрение автоматизированной системы фото и видео фиксации нарушения правил дорожного движения	Внедрение системы информирования граждан о возникновении чрезвычайных ситуаций	Система онлайн-мониторинга атмосферного воздуха		Внедрение комплексной системы информирования туристов и жителей города
Интеллектуальный центр городского управления	Сокращение потребления энергоресурсов в государственных и муниципальных учреждениях	Внедрение автоматизированной системы аренды и проката («Каршеринг»)	Интеллектуальное управление городским общественным транспортом	Интеллектуальная система контроля исправности противопожарных систем массового скопления людей	Система онлайн-мониторинга воды		

	Внедрение автоматических систем мониторинга состояния зданий, в том числе, шума, температуры, работы, работы лифтового оборудования, системы противопожарной безопасности и газового оборудования	Потребление Wi-Fi сети	Интеллектуальное управление движением				
	Внедрение автоматизированного контроля исполнения заявок потребителей и устранение аварий		Создание безопасных и комфортных мест ожидания общественного транспорта				
	Внедрение возможности проведения общего собрания собственников помещений/домов, посредством электронного голосования		Создание системы мониторинга состояния дорожного движения				