

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева

УДК 004.42

На правах рукописи

АДИКАНОВА САЛТАНАТ

**Разработка информационной системы для моделирования загрязнения
атмосферы автотранспортом**

6D070300 – Информационные системы (по отраслям)

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты

Денисова Н.Ф. кандидат физико-
математических наук,
Малгаждаров Е.А. кандидат
технических наук

Вуйцик В. доктор технических
наук, профессор

Республика Казахстан
Усть-Каменогорск, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	14
1.1 Мониторинг загрязнения окружающей среды при эксплуатации автотранспорта	14
1.2 Определение интенсивности автотранспортного потока на транспортной сети города	29
1.3 Оценка энергоэкологического воздействия автотранспортных потоков на окружающую среду города Усть-Каменогорска	36
1.4 Краткие выводы	46
2 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ ГОРОДА	47
2.1 Математическое моделирование переноса примесей вредных выбросов от автотранспорта в атмосфере города	47
2.2 Основные закономерности турбулентного течения газа	57
2.2.1 Основные характеристики турбулентности	58
2.3 Вероятностно-статистическое моделирование переноса вредных примесей в атмосфере от автотранспортных средств	59
2.4 Краткие выводы	69
3 ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА АВТОТРАНСПОРТОМ	71
3.1 Сравнительный анализ информационных систем мониторинга загрязнённости воздушного бассейна	71
3.2 Разработка системы моделирования процесса рассеивания вредных примесей, выбрасываемых автотранспортом в атмосферный воздух города Усть-Каменогорска	86
3.2.1 Инфологическая модель системы	86
3.2.2 Архитектура информационной системы	89
3.2.3 Описание пользовательского интерфейса системы	96
3.3 Краткие выводы	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	109
ПРИЛОЖЕНИЕ А - Акт внедрения	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Листинг кода	119
ПРИЛОЖЕНИЕ В - Официальное письмо в УАП ДВД ВКО	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Данные с УАП ДВД ВКО о количестве АТС	123

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- РК – Республика Казахстан
 - ЗВ – загрязняющие вещества
 - АТС – автотранспортные средства
 - ОС – окружающая среда
 - ПДЭН - предельно допустимая экологическая нагрузка
 - ПДТН - предельно допустимая техногенная нагрузка
 - ПДК - предельно допустимая концентрация
 - ПДД - предельно допустимая доза
 - ПДУ - предельно допустимый уровень
 - СанПиН – санитарные правила и нормы
 - ПДВ - предельно допустимые выбросы
 - ПДС - предельно допустимые стоки
 - ДВС - двигатель внутреннего сгорания
 - УДС – улично-дорожная сеть
 - ИКТ – информационно-коммуникационные технологий
 - WEB – веб, интернет-пространство
 - HTML – HyperText Markup Language, язык гипертекстовой разметки
 - CSS - Cascading Style Sheets, каскадные таблицы стилей
 - JS – JavaScript, мультипарадигменный язык программирования
 - Json - JavaScript Object Notation, текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript.
- Языки программирования .NET - компьютерные языки программирования, используемые для создания библиотек и программ, удовлетворяющих требованиям Common Language Infrastructure.

ВВЕДЕНИЕ

По направлению государственной программы «Цифровой Казахстан», утвержденной Правительством Республики Казахстан (РК) №827 от 12 декабря 2017 года, происходит ускорение темпов развития экономики республики и улучшение качества жизни населения за счет использования цифровых технологий в среднесрочной перспективе, а также создаются условия для перехода экономики Казахстана на принципиально новую траекторию развития. Это позволит обеспечить создание цифровой экономики будущего в долгосрочной перспективе, важным элементом которой становятся автоматизированные средства осуществления мониторинга загрязнения атмосферы.

Актуальность данной проблемы обусловлена действием Экологического кодекса Республики Казахстан (от 9 января 2007 года № 212), который определяет государственные меры по устойчивому экологическому развитию страны. Кодекс предполагает мониторинг как комплексную систему наблюдений за состоянием окружающей среды, природных ресурсов, в целях оценки, прогноза и контроля изменений их состояния под воздействием природных и антропогенных факторов.

В статье 141 предполагается осуществление наблюдений за состоянием загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах Республики Казахстан уполномоченными органом в области охраны окружающей среды.

Примеси вредных веществ в атмосфере и особенности их пространственно-временного распределения являются основой для объективной оценки состояния и тенденций изменения загрязнения воздушного бассейна. В связи с этим необходима разработка мероприятий, предусматривающих обеспечение чистоты атмосферы с целью нормирования вредных выбросов в атмосфере. Результаты исследований должны учитываться при проектировании размещения предприятий и жилых массивов и при установлении предельно допустимых выбросов в атмосферу.

По данным национальных природоохранных органов все областные и крупные промышленные центры республики имеют повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха. В городах наблюдается высокий уровень загрязнения воздуха, что, безусловно, связано с выбросами углекислого газа от сжигания топлива в транспортном секторе. На сегодняшний день в городах Алматы, Караганда, Усть-Каменогорск и Шымкент наблюдается сильное загрязнение воздушной среды, причем около 80-90% вредных выбросов в атмосферу приходится на долю автомобильного транспорта. Появляется необходимость принятия кардинальных мер по контролю и снижению выбросов в атмосферу вредных веществ автотранспортных средств.

В связи с вводом норм на выбросы вредных веществ автотранспортом и переходом на стандарты Евро-4 и Евро-5 согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», ожидается ужесточение методов контроля за выбросами вредных веществ от автомобильного транспорта.

Научные исследования в области охраны окружающей среды в Республике Казахстан являются одним из элементов эффективности деятельности государства по определению путей устойчивого развития страны, которое подразумевает проведение разработок экологического мониторинга, а также развитие информационных технологий в целях государственного управления в области охраны окружающей среды. (*Стратегический план развития Республики Казахстан до 2025 года был утвержден Указом Президента Республики Казахстан № 636 от 15 февраля 2018 года*).

В основе объективной оценки состояния и тенденций изменения загрязнения воздушного бассейна лежат исследования закономерности распространения атмосферных примесей и разработка мероприятий, которые обеспечивают чистоту атмосферы. В современной науке прослеживается тенденция давать характеристику загрязнения атмосферы с позиции метеорологических величин. Безусловно, создание программных приложений по мониторингу загрязнения атмосферы, интерпретирующих результаты численного анализа расчетов количества выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств, непосредственно связано с метеорологическими задачами. Проведение мероприятий, улучшающих экологическую обстановку и нормирующих количество вредных выбросов в атмосферу, установление предельно допустимых норм выброса, в обязательном порядке должно учитывать условия рассеивания вредных выбросов в атмосфере, что является важным фактором при планировании размещения предприятий и жилых массивов.

Отделы градостроительных предприятий, которые имеют большое количество автотранспортных средств, автоматизируют деятельность автотранспорта, целью которой является мониторинг выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В основе данного мониторинга лежит расчет количества загрязняющих веществ, прогнозирование выбросов и разработка рекомендаций по проведению мероприятий по улучшению экологической среды. Автомобилизация страны затрагивает научно-технические, экономические, социальные и экологические проблемы. Современная автомобилизация общества обладает рядом положительных и отрицательных явлений. Так, негативная сторона автомобилизации проявляется в нанесении ущерба природе и обществу как непосредственно, так и в виде нерационального расходования ресурсов. Следовательно, необходимо проводить мероприятия по сокращению выбросов вредных веществ в атмосферном воздухе города.

Имеющиеся в современной науке алгоритмы расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от автотранспортных средств (работы М. Е. Берлянда, Н. Л. Бызова, П. Бенсона, Д. П. Чока, Р. Эскриджа, работах И.А. Кибеля, Л.Н. Гутмана, Г.И. Марчука, В.В. Пененко, А.Е.Алояна, Л.Т. Матвеева, Р. Пильке, В. К. Аргучинцева, А. В. Аргучинцевой, утвержденные ГОСТ методики расчета) обладают рядом недостатков. Так, модели данных, которые используются указанными алгоритмами, в полной мере не учитывают

параметры функционирования автотранспортных средств совместно с алгоритмами обработки стационарных источников загрязняющих веществ. В основе данных алгоритмов идет расчет выбросов от участков транспортной сети, а не от отдельных автотранспортных средств.

Развитие нового направления в метеорологических работах, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, предполагает прогнозирование условий достижения высоких концентраций примесей в приземном слое атмосферы. При этом наибольший интерес в практическом применении представляют прогнозы краткосрочные (в пределах суток), где возможно резкое повышение концентраций вредных примесей в приземном слое воздуха.

В работах П. Бенсона, Д. П. Чока, Р. Эскриджа созданы алгоритмы, где поток машин трансформируется в поток жидкости, что позволяет говорить о более точных результатах. Однако в этих алгоритмах отсутствует возможность учета характеристик отдельных АТС. В некоторых работах (например, В.В. Семенова) представлен математический аспект моделирования динамики транспортного потока. Недостатком данных работ является их теоретическая направленность, поскольку при создании программных средств на их основе присутствует существенное ограничение производительности.

Таким образом, актуальность темы определяется необходимостью совершенствования моделей данных и создания модели перемещения автотранспортных средств, которые позволяют достичь большей точности в анализе вредных выбросов в атмосферу, и на их основе разработать структуру программного средства, обладающего приемлемой производительностью.

В настоящее время существует достаточно много систем мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, обладающих быстродействием и точностью интерпретации результатов расчета выбросов от транспортной сети автомобилей.

В некоторых городах не удается вынести за пределы населенного пункта крупные источники загрязнений, а уровень средств фильтрации не всегда обеспечивает необходимую очистку выбросов. Все это оказывает влияние на неблагоприятную метеорологическую обстановку в жилых районах города, где наблюдается опасное загрязнение воздуха. При проектировании новых предприятий часто становится экономически нецелесообразно планировать малый выброс в атмосферу с целью исключения любого превышения наземными концентрациями примесей предельно допустимых значений – ПДК.

Все выбросы веществ от производственной деятельности человека сосредоточены в пограничном слое атмосферы, где энергия в виде тепла и влаги передается от подстилающей поверхности в атмосферу и обратно. Именно поэтому значение структуры пограничного слоя служит основой для установления способности атмосферы очищаться от вредных примесей.

Структура этого слоя крайне сложная. Разнообразие характеристик подстилающей поверхности (различие в шероховатости, альбедо, форме рельефа) и атмосферных условий приводят к большой изменчивости условий на границах этих сред; большое значение имеет и вращение земли. При

математическом моделировании все эти факторы невозможно учесть в рамках одной модели, так как воздушные потоки в пограничном слое атмосферы почти всегда турбулентны. Турбулентность оказывается главным источником трудностей при изучении пограничного слоя атмосферы, но она облегчает перенос тепла, количества движения различных примесей, загрязняющих воздух.

В основе теории пограничного слоя атмосферы лежит система уравнений, описывающая движения вязкой сжимаемой ньютоновской жидкости во вращающейся системе координат.

Выводы этих уравнений приведены в работах Ландау и Лившица [1]. Получить аналитическое решение уравнений движения в турбулентном пограничном слое пока нет надежды, поэтому актуальным является вопрос численного моделирования процессов в пограничном слое.

Успех в решении поставленных задач в значительной степени зависит от принятых за основу физических моделей и их корректной математической постановки.

Эти вопросы достаточно полно отражены в работах И.А. Кибеля [2], Л.Н. Гутмана [3], Г.И. Марчука [4, 5], В.В. Пененко и А.Е.Алояна [6, 7], Л.Т. Матвеева [8, 9], Р. Пильке [10] и др. В этих работах использована модель локальных атмосферных процессов для изучения различных воздействий естественных и антропогенных факторов. В некоторых задачах, например микроклимата карьеров или городов и охраны воздушного бассейна (при отсутствии отрывных течений и мощных вертикальных потоков воздуха), вместо полного уравнения переноса импульса в вертикальном направлении может использоваться приближение квазистатики. К таким работам относятся работы Л.Н. Гутмана [3], Р. Пильке [10] и др.

В последние годы для решения уравнений Навье-Стокса большой вклад внесли Ш.Смагулов, Н.Данаев и их ученики. При использовании криволинейной системы координат уравнения движения преобразуются относительно независимых переменных, а компоненты вектора скорости записываются в декартовой системе координат. Такой подход не накладывает ограничений на систему координат, что упрощает процедуру дискретизации расчетной области [11]. В работах Смагулова Ш.С., Данаева Н.Т. Жумагулова Б.Т. и Темирбекова Н.М., Абдолдиной Ф.Н. разработаны эффективные численные методы для уравнений Навье-Стокса [12, 13, 128].

Разностные схемы, разработанные Р. Пильке [10], Т. Гал-Ченом [15], использующие преобразования координатной системы, являются наиболее предпочтительными. В этих работах предлагается численный метод решения уравнения термодинамики над регулярной нижней границей типа горы. Однако появление новых дополнительных слагаемых в основных уравнениях затрудняет ее реализацию.

Теоретическому исследованию уравнений переноса тепла и влаги в атмосфере посвящены работы многих авторов [16-23].

В настоящее время существует ряд математических моделей влажного

пограничного слоя. Следует отметить работу А.Е.Алояна и Г.И.Исаева [23], где в рамках полного уравнения термогидродинамики атмосферы рассматривается образование тумана и конвективных облаков в упрощенном варианте (без учета микрофизики). В работах В.И.Хворостьянова [24-26] такое исследование проводится на базе трехмерной модели и достаточно сложной микрофизики туманообразования. Однако в работах [23-29] не учитываются уравнения для вертикального ускорения. В работе [27] с помощью пространственной модели с параметризацией спектров капель тумана рассчитывались процессы туманообразования и гололедно-изморозевых отложений от незамерзающих рек вблизи гидроэлектростанции.

Большое число работ посвящено изучению закономерностей турбулентного обмена стратифицированного пограничного слоя. В [28] приведен обзор работ, посвященных замыканию уравнений теории пограничного слоя атмосферы с помощью тех или иных полуэмпирических гипотез.

Существующие мезо-масштабные модели являются в большинстве своем специализированными и предназначаются для исследований отдельных атмосферных процессов. Наибольший прогресс, в этой области достигнут, на наш взгляд, в работах Таппа и Уайта [29] и Карпентера [30]. В этих моделях существующий рельеф местности не учитывается.

В настоящее время для описания процессов рассеивания примеси используется ряд математических моделей, основанных на уравнениях турбулентной диффузии [31, 32]. В зависимости от характера пространственных масштабов и исследуемых процессов переноса и диффузии загрязняющих веществ используются различные типы моделей. При условии, что параметры модели постоянны (скорость ветра, коэффициент диффузии и т.д.), в работе [33] получено аналитическое решение системы уравнений в одномерном и двумерном случае, где эти параметры априори неизвестны, и для их определения необходимо применять методы параметрической идентификации или другие методы обработки данных измерений [34, 35]. В связи со сложностью уравнений, описывающих процессы загрязнения воздуха, основное внимание уделяется методам их численного решения [4, 6]. Иногда вместо моделей, представляемых уравнениями в частных производных, используют регрессионные модели [36], основанные на обработке данных экспериментального исследования объекта.

Накоплен многолетний опыт по изучению загрязнения атмосферы, проведены серии натурных экспериментов по контролю распространения примесей, получены основные их закономерности переноса и осаждения [37, 6, 31]. Проведение природоохранных мероприятий выдвигает повышенные требования к точности моделей, предназначенных для расчета распространения примесей в атмосфере. Методика расчета рассеяния примеси в основном пригодна для условий термически однородного и ровного рельефа [37, 31]. Однако значительное количество промышленных объектов размещаются на побережье водоемов или в холмистых местностях. В таких случаях

использование кинематических моделей, где компоненты скорости ветра и другие метеорологические характеристики предполагаются заданными, приводит к большим погрешностям рассеяния примесей в атмосфере. Поэтому вполне понятен возникающий интерес к изучению процесса переноса и рассеяния примесей с помощью гидродинамических моделей, более детально описывающих физические процессы [38].

В работе [38] рассматривается численный алгоритм для модели пограничного слоя атмосферы со свободной границей верхней воздушной массы.

Изучение бризовых течений имеет большое значение для уточнения местных прогнозов погоды, проведения расчетов распространения примесей в атмосфере, метеорологического обеспечения судов и т.д. Применительно к условиям города эта задача представляет собой интерес в связи с тем, что многие промышленные центры расположены на побережьях морей и крупных озер.

Математическая постановка задачи о бризе как существенно нелинейной и нестационарной задачи типа пограничного слоя принадлежит Кибелю [39]. Из первых численных моделей бриза, основанных на решении исходных уравнений гидродинамики, наиболее полной можно считать модель Эстока [40], которая впоследствии была развита Макферсоном [41] для трехмерного случая. Слабой стороной этой модели было использование продифференцированного по высоте уравнения неразрывности, что привело к нарушению принципа сохранения массы. Позднее Нейман и Марер [42] применили к расчету полей ветра и давления схему Чорина [43], обеспечивающую выполнение уравнения неразрывности. Их модель содержит уравнение движения по вертикали в полном виде вместо гидростатического приближения. Это направление было продолжено в работе [44].

В работе [45] построена нестационарная двумерная модель мезо-метеорологических процессов, обусловленных температурными неоднородностями подстилающей поверхности. В отличие от существующих моделей бризовой циркуляции здесь учтено взаимодействие воздушного потока с элементами городской застройки и введен непосредственный расчет температуры поверхности суши. Система уравнений включает III уравнения движения в полном виде. Поля ветра и давления рассчитываются по методу Чорина, обеспечивающему сохранение массы.

В настоящее время можно выделить два подхода к решению проблемы окружающей среды. Первый – традиционный подход прямого моделирования. В постановках задач этого типа обычно отсутствует режим обратной связи, т.е. предполагаются заданными распределения и мощности источников. При традиционном подходе методами математического моделирования в сочетании с натурными измерениями оцениваются поля концентраций загрязняющих примесей в атмосфере и водных объектах. Второй подход по содержанию конструктивно развивает первый, но по основным целям, в определенном смысле, составляет ему альтернативу. Суть заключается в том, что ставится

обратная задача: определить пределы допустимых антропогенных нагрузок в соответствии с критериями и ограничениями экологической безопасности и стабильности. Это – задача проектирования природоохранных мероприятий и управления качеством природной среды, которые должны решаться обязательно в опережающем режиме при планировании и реализации крупных проектов, связанных с воздействием на окружающую среду. Допустимые пределы нагрузок в параметризованном виде выражают требования к технологии и способам производства, а также к размещению объектов с учетом климатических и других условий. Идея такого подхода и принципы алгоритмической реализации с использованием основных и сопряженных уравнений численных моделей развиваются в работах [4, 6, 46, 47, 48, 49, 50].

Спектр атмосферных движений находится в мезо-масштабном интервале и существенно зависит от орографических и термических неоднородностей, от турбулентных характеристик атмосферы, изменения высоты инверсии и т.д. Этой проблеме посвящена работа [51].

Если в уравнение движения Навье-Стокса поставить указанные уравнения при одновременном усреднении по времени и пространству, то мы получаем уравнение движения Рейнольдса, куда включены добавочные касательные напряжения, которые обуславливают повышение вязкости и гидравлического сопротивления. Для того, чтобы замкнуть систему уравнения, используют статистические или полуэмпирические теории турбулентности, аналогии между турбулентными и молекулярными напряжениями, экспериментальные данные о статистических связях между пульсациями в пространстве и по времени [35, 37, 52]. Но, прежде чем использовать статистическую теорию, необходимо наличие предварительных сведений о турбулентных характеристиках потока. Это условие привело к распространению статистико-феноменологических теорий турбулентного переноса, характеризующихся интенсивностью и масштабом или кинетической энергией пульсационного движения и скоростью ее диссипации [52].

Принято считать, что можно пренебречь взаимным влиянием частиц, а их стохастическое движение определяется только турбулентностью потока [37]. Так же часто встречаем допущение об изотропной турбулентности, при обычных условиях подтверждающее данными проведенных исследований с удовлетворительной точностью. Главный недостаток диффузионных моделей в том, что они содержат допущение об однородности поля турбулентных пульсаций по всем направлениям, а характер движения дисперсной фазы в турбулентном потоке – вероятно-стохастический, в связи с чем все попытки описать его детерминированными зависимостями приводят к существенному снижению возможностей анализа и принятию управленческих решений.

Считаем, что применение примитивной методики вероятностно-статистического моделирования дает возможность построения эффективных численных алгоритмов расчета.

Идея работы – смоделировать воздействие автотранспортных потоков на окружающую среду, учитывая местность, улично–дорожную сеть и количество

автотранспортных средств конкретного региона.

Объектом исследования является процесс описания переноса вредных примесей в атмосфере с помощью математического моделирования изменчивости газового и аэрозольного состава атмосферы, а также оценка влияния атмосферных примесей на окружающую среду.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы вероятностно-статистического моделирования для построения эффективного численного алгоритма расчета переноса вредных примесей от линейных источников на горизонтальном сечении.

Основной целью работы является создание компьютерной модели микроклимата воздушного бассейна города для системы мониторинга на базе вероятностно-статистической модели, исследование процессов загрязнения атмосферы и рассеяния загрязняющих примесей.

В основе создания информационных систем процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе лежат исследования по компьютерной графике, экспертным системам и системам цифровой картографии. В последнее время ими занимались Закарин Э.А. и его ученик, Спивак Л.Ф. (1998). Результаты этих исследований используются при разработке информационных систем экологического мониторинга [53, 54, 55, 56].

Для достижения указанной цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие **задачи**:

- 1) Выполнен анализ энерго-экологического воздействия автотранспортных потоков на окружающую среду;
- 2) Адаптированы математические модели переноса примесей вредных выбросов от автотранспорта в атмосфере города;
- 3) Разработаны методы и алгоритмы переноса вредных примесей от автотранспортных средств в атмосфере на основе вероятностно-статистического моделирования;
- 4) Апробирована и внедрена система моделирования процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе города.

Методы исследования. Основу методов исследования составляет использование средств системного анализа, имитационного моделирования, информационных технологий. Разработка программных средств велась методами модульного Web-программирования, применялись технологии объектно-ориентированного программирования с использованием шаблонов проектирования.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в применении вероятностно-статистического моделирования переноса вредных примесей от автотранспортных средств в атмосфере, в разработке системы учета вредных выбросов в атмосферу автотранспортными средствами, позволяющей смоделировать перенос примесей от линейных источников.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- 1) Методы и алгоритмы расчета количества выбросов загрязняющих

веществ от автотранспортных средств на улично-дорожной сети представлены в виде графа;

2) Вероятностно-статистические модели переноса вредных примесей в атмосфере от автотранспортных средств;

3) Информационные технологии моделирования процесса рассеяния вредных примесей в атмосферном воздухе адаптированы на любой населенный пункт с использованием свободного веб-картографического сервиса OpenStreetMap.

Практическая значимость исследования. Разработанные в диссертационной работе алгоритмы и программные средства предназначаются для использования в системах мониторинга загрязнения воздушного бассейна города.

На базе вероятностно-статистической модели исследованы динамические процессы переноса примесей вредных веществ в атмосфере. Создана информационная система, позволяющая произвести подсчет количества выбросов вредных веществ в атмосферу от движущегося транспорта по улично-дорожной сети (УДС).

В атмосферном воздухе частица примеси перемещается с потоками воздуха, под воздействием внешних сил, под воздействием турбулентных пульсаций атмосферы посредством турбулентной диффузии. Исходя из сказанного, траекторию движения частиц можно рассмотреть как сумму случайных путей: любая из ее координат в любой момент времени может быть представлена как сумма детерминированной и случайной составляющих.

Разработанная информационная система мониторинга процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе города моделирует распространение выбросов вредных веществ от автомобильного транспорта в атмосфере города и будет полезна при разработке маршрутов и графиков движения общественного транспорта и их оценки с экологической точки зрения.

Разработанная информационная система мониторинга отвечает всем требованиям, предъявляемым к автоматизированным информационным системам, может эффективно использоваться в проведении мероприятий по охране окружающей среды.

Реализация результатов работы. Созданная система внедрена в августе 2018 года и успешно используется при работе инженеров комплексной лаборатории филиала РГП на ПХВ "Казгидромет" по ВКО.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на: Международной научной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании (СiTech-2015)», 24-27 сентября 2015г., КазНУ, г.Алматы, Казахстан; 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications, 17 December 2015, Lublin and Naleczow, Poland; Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 29 May – 6 June, 2016. - Wilga, Poland; Международной конференции GEOMED 2016 4th

International Geography Symposium, May 23 - 26, 2016. - Kemer, Antalya, Turkey; Международной конференции студентов, магистрантов и молодых ученых «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана», 12 - 13 апреля 2017г., ВКГТУ, г.Усть-Каменогорск, Казахстан; в VI Конгрессе Математического общества тюркского мира (TWMS 2017), 2 - 5 октября 2017г., ЕНУ, г.Астана, Казахстан; на Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании (CiTech-2018)», 25 - 28 сентября 2018г., ВКГТУ, Усть-Каменогорск, Казахстан.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, в том числе 1 статья в журнале, индексируемом в базе данных Thomson Reuters, 1 статья в сборнике материалов конференции, индексируемом в базе данных Thomson Reuters, 1 статья в журнале, индексируемом в базе данных Scopus, 3 статьи в сборнике материалов конференции, индексируемом в базе данных Scopus, 3 работы в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 4 работы в сборниках международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных источников, состоящего из 131 наименований, изложенных на 117 страницах компьютерного текста, включая 50 рисунков, 9 таблиц и 5 приложений.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

1.1 Мониторинг загрязнения окружающей среды при эксплуатации автотранспорта

Анализ состояния загрязнения окружающей среды современного города показывает, что основным источником загрязнения окружающей среды постепенно становится транспортный комплекс. С одной стороны, автомобиль облегчил человеку жизнь, а с другой стороны – отравляет её в самом прямом смысле слова. Чрезмерная автомобилизация приводит к постоянно увеличивающейся степени загрязнения, о чем свидетельствуют следующие данные: легковой автомобиль в год поглощает (в среднем) около 4 тонн кислорода, при этом в атмосферу выбрасывается отработавшими газами около 800 кг углерода, 40 кг оксида азота и практически 200 кг различных углеродов. Если учесть факт, что мировой парк автомобилей составляет больше 1 млрд. единиц автомобилей, то можно высчитать примерную степень загрязнения атмосферы автотранспортом. В современном мире автомобиль стал неотъемлемой частью жизни человека, но в то же время он отравляет эту жизнь в полном понимании этого слова. Следовательно, необходимо не ограничивать применение автотранспорта, а искать способы использования автомобилей, которые были бы либо безопасными, либо наносили бы наименьший вред природе и обществу.

Именно поэтому должны быть выявлены полезные и необходимые для общества процессы, осуществление которых не представляется возможным без участия автомобиля. К таким процессам можно отнести грузовые автомобильные перевозки, пассажирские автомобильные перевозки.

Однако повсеместная автомобилизация приводит к ряду негативных явлений, которые наносят существенный ущерб обществу и природе, что может проявиться непосредственно или в виде нерационального расходования ресурсов.

Негативное воздействие на окружающую среду автомобильного транспорта проявляется в следующем:

в городах:

- 1) загрязнение атмосферного воздуха токсичными компонентами отработавших газов автомобилей (90% автотранспортных средств с бензиновой топливе);
- 2) транспортный шум и вибрация;
- 3) потребность в значительных площадях внутри городской застройки;
- 4) электромагнитные излучения;
- 5) засаливание городских земляных массивов;
- 6) загрязнение городских водоемов и подпочвенных вод;

- 7) увеличение парникового эффекта, который влияет на разрушение озонового слоя;
- 8) ухудшение здоровья человека на загородных территориях:
 - 1) потребность в значительных площадях для строительства автомобильных дорог и других сооружений;
 - 2) "разделяющий эффект" автомобильных дорог, который оказывает влияние на экологию региона и сельскохозяйственное производство;
 - 3) нарушение экологического равновесия, которое наблюдается при строительстве и эксплуатации дорог;
 - 4) увеличение возможности доступа людей к заповедным и труднодоступным нетронутым природным комплексам.

В настоящее время наблюдаем активную автомобилизацию страны, представляющую интенсивный процесс, который затрагивает проблемы, стоящие перед всем человечеством. К таким проблемам относим научно-технические, экономические, социальные и экологические.

В научной литературе используется термин «мониторинг». Мониторинг есть процесс регулярного или непрерывного слежения за какими-то явлениями или объектами и регистрации их состояния. Мониторинг окружающей среды (ОС) или экологический мониторинг представляет собой информационную систему, которая имеет следующие направления деятельности: 1 — наблюдение за состоянием ОС; 2 — оценка текущего состояния ОС; 3 — прогноз состояния ОС и его оценка. Отметим тесную связь всех направлений, основой которых является наблюдение. С одной стороны, наблюдение позволяет целенаправленно воспринимать компоненты ОС, что дает возможность провести оценку и сделать прогноз состояния ОС; с другой — верная оценка и точный прогноз влияют на изменения или расширения программы наблюдений. В основе экомониторинга лежит систематическое наблюдение по следующим характеристикам: времени, пунктам, анализируемым загрязнениям. Экомониторинг имеет целью обеспечить своевременной и достоверной информацией о состоянии ОС для управления ее качеством, природоохранной деятельности и т.д., включая и информирование граждан о состоянии ОС.

Достаточно сложную задачу представляет оценка и прогноз будущего состояния ОС. Это связано в первую очередь с большим объемом информации, которая собирается в процессе экомониторинга. Даже простое перечисление процессов и факторов, которые оказывают влияние на распространение и превращение загрязняющих веществ, дает возможность говорить о большом потоке данных. Это и распространение загрязняющих веществ на сотни и тысячи километров при помощи ветра и течений, и превращение и изменение в результате химических реакций одних загрязняющих веществ в другие, причем иногда в результате получается более токсичное вещество; загрязняющие вещества переходят из одной среды в другую (например, из атмосферы в почву, поверхностные и грунтовые воды), они накапливаются в растениях и живых

организмах. Отметим, что экомониторинг включает в себя не только мониторинг химических загрязнений, но и радиоактивных, биологических, шумов, вибраций, электромагнитных полей.

В зависимости от характера задач, которые могут быть решены в процессе экомониторинга, в системе экомониторинга условно выделяют следующие уровни: 1 — фоновый; 2 — региональный; 3 локальный; 4 — мониторинг источников выбросов.

1) Фоновый мониторинг позволяет определить «фоновое» состояние ОС, так называемый «нуль отсчета», который и становится точкой определения уровня загрязнений ОС. Для проведения фонового мониторинга используются базовые станции, расположение которых должно соблюдать следующие условия. Во-первых, базовая станция должна быть удалена от источников загрязнения, которыми являются населенные пункты, предприятия, сельскохозяйственные объекты, дороги (автомобильные и железнодорожные), самолетные трассы и проч. Во-вторых, базовая станция не должна подвергаться воздействию таких явлений природы, как вулканическая деятельность, песчаные бури, лесные пожары и т.п.

Программа фонового мониторинга включает в себя следующие наблюдения:

а) наблюдения за составом, миграцией и круговоротом загрязняющих веществ;

б) наблюдения за гидрометеорологическими параметрами, куда входят температура, направление и скорость ветра, осадки, снежные покровы, уровнем солнечное излучение и проч.;

в) наблюдения за реакцией биоты на уровне популяций и экосистем.

Программа фонового мониторинга включает в себя исследования воздуха, атмосферных осадков, сухих атмосферных выпадений, снежного покрова, подземных и поверхностных вод, донных отложений, почвы, растительного материала, тканей животных с точки зрения наличия (или отсутствия) загрязняющих веществ. При фоновом мониторинге атмосферы обязательным являются следующие измерения: концентрация оксида и диоксида углерода (CO , CO_2), оксида и диоксида азота (NO , NO_2), диоксида серы (SO_2), озона (O_3), углеводородов (C_xH_y), ртути и хлора. Анализ атмосферных осадков и выпадений, воды и почвы показывает уровень концентрации тяжелых металлов, катионы, анионы, полиароматические углеводород (ПАУ), пестициды.

2) Проведение регионального мониторинга проходит в большом регионе, который имеет ярко выраженные особенности воздействия промышленных предприятий или предприятий сельского хозяйства на ОС, имеет сходные климатические условия, рельеф местности и т.п. При проведении регионального мониторинга необходимо учитывать данные станций, находящихся в регионе и проводящих фоновый мониторинг. Объединение данных фонового и регионального мониторингов позволяют оперативно отслеживать изменения состояния ОС и негативные воздействия загрязнений.

3) Локальный мониторинг необходим в местах существенного воздействия загрязнений на ОС. К таким местам относим промышленные районы, автотрассы, аэропорты и т.п.

4) Мониторинг источников выбросов проводит измерения непосредственно в дымовых трубах, стоках, выхлопах автомобилей и т.д. данный вид мониторинга часто относят к одному из видов технологического контроля и не включают его в систему мониторинга ОС. Считаем подобный подход не совсем верным, поскольку уровень концентрации загрязняющих веществ, которые содержатся в указанных источниках, может превышать концентрацию в ОС в тысячи и более раз. Заметим, что методы и приборы, которые используются для мониторинга источников выбросов, иные, чем при фоновом, региональном и локальном измерении.

Многие страны разработали национальные системы мониторинга, которые используются при проведении мониторинга ОС. В Республике Казахстан отсутствует единая организация, которая аккредитована для проведения мониторинга. Функции национальной системы мониторинга переданы ряду ведомственных служб, которые относятся к комитетам по гидрометеорологии, санитарно-эпидемиологическому надзору, водному хозяйству, министерствам сельского хозяйства, охраны природы и некоторым другим (общее количество около 20). Считаем необходимым отметить слабую организационную и методическую взаимосвязь указанных служб, что приводит к снижению эффективности работы всей системы в целом.

Основные задачи, которые решает национальная система мониторинга:

1) наблюдать и контролировать уровень загрязнений, распределение загрязняющих веществ во времени, в пространстве и в различных средах, выявление источников выбросов;

2) обеспечить заинтересованные организации систематической и экстренной информацией, включающей в себя изменение уровней загрязнения, прогнозы и предупреждения о возможных изменениях этих уровней.

Важным в национальной системе мониторинга является работа атмосферных станций и постов наблюдения, которые принято делить на три категории:

1) стационарные посты, предназначенные для систематических и длительных наблюдений, сделаны в виде специальных павильонов, оснащенных необходимыми приборами и аппаратурой для отбора проб, непрерывной регистрации концентраций загрязняющих веществ и определения метеопараметров.

2) маршрутные посты, цель которых производить постоянные наблюдения в заранее определенных точках местности при помощи передвижной автомобильной лаборатории, которая производит отбор проб, делает метеоизмерения.

3) передвижные посты, служащие для разовых наблюдений вблизи источников выбросов.

Определение расположения постов и точек наблюдения зависит от предварительного обследования атмосферы ОС.

Итак, нами были рассмотрены понятие мониторинга, уровни мониторинга, выявлена структура системы мониторинга ОС в Республике Казахстан, определены задачи экомониторинга. Важным остается вопрос о нормах и критериях оценки состояния окружающей среды, о допустимых воздействиях на окружающую среду. Отметим, что речь не идет о полном прекращении воздействия на ОС, так как это приведет к остановке работы всей промышленности, энергетики, транспорта и т.п. В данном случае считаем необходимым использовать формулировку предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН) или предельно допустимой техногенной нагрузки (ПДТН).

Предельно допустимая экологическая нагрузка (предельно допустимая техногенная нагрузка) есть такая нагрузка на ОС, которая не влияет на ухудшение ее качества. Высокое качество ОС проявляется в следующих характеристиках:

- 1) в месте воздействия наблюдаем устойчивое существование и развитие экосистемы;
- 2) в настоящем и будущем не прогнозируются неблагоприятные последствия у любой популяции в месте воздействия.

Для определения количественной составляющей допустимого влияния на ОС различных типов загрязнений, таких как химические, радиационные, шумовые и т.п., были введены экологические нормативы. К экологическим нормативам относятся: предельно допустимая концентрация (ПДК), предельно допустимая доза (ПДД), предельно допустимый уровень (ПДУ), которые определяют допустимую концентрацию загрязняющих веществ в ОС (воздух, вода, пища), не оказывающую вредного влияния на здоровье человека сейчас и которая не вызовет неблагоприятных последствий в будущем. Определение влияния загрязняющего вещества на ОС тесно связано с определением времени воздействия этого вещества на ОС. В связи с этим принято использовать следующие типы ПДК: максимальные разовые ПДК (ПДК_{мр}), время воздействия вещества – 20 минут; среднесуточные ПДК (ПДК_{сс}), ПДК рабочей зоны (ПДК_{рз}) и некоторые другие. Нормы ПДК определяются после многочисленных лабораторных экспериментов и имеют определенный запас прочности. Величины ПДК утверждаются Минздравом и являются обязательными в производственной деятельности (санитарные правила и нормы СанПиН). Отметим, что ПДК является, в первую очередь, санитарно-гигиеническими нормами, которые предназначены для защиты человека от вредного воздействия, однако ПДК не устанавливает допустимых нагрузок на экосистемы, в связи с чем может быть нанесен существенный вред ОС. Так, максимальная разовая ПДК диоксида серы составляет $0,5 \text{ мг/м}^3$, среднесуточная — $0,05 \text{ мг/м}^3$, в то время как воздействие негативного характера на растительность проявляется при концентрации $0,02 \text{ мг/м}^3$. Существующие нормы ПДК не учитывают или учитывают частично следующие факторы: 1 —

результатом перехода загрязняющих веществ в другую среду становится их химическое или биологическое накопление; 2 – накопление загрязняющих веществ начинает проявляться на уровне пищевых цепочек; 3 – загрязняющие вещества переходят в более токсичные формы; 4 — появляется эффект суммированного действия: загрязняющие вещества образуют смеси, которые более токсичны, чем отдельные вещества. В качестве иллюстрации рассмотрим несколько примеров.

Пример 1. Коэффициент накопления полихлорбифенилов (входят в состав смазочных материалов, синтетических смол, образуются при их сжигании) водными беспозвоночными и рыбами составляет 10^3 — 10^5 , птицами и млекопитающими — 10^7 - 10^8 . (Коэффициент накопления показывает, во сколько раз концентрация вещества в организме больше, чем в ОС).

Пример 2. Диоксид серы окисляется в атмосфере в триоксид SO_3 и выпадает в осадках в виде сульфатов и серной кислоты. Серная кислота вызывает коррозию, закисление почв и воды. Сульфаты начинают действовать на человека при концентрации примерно $0,006$ мг/м³, тогда как ПДКсс для диоксида серы составляет $0,05$ мг/м³.

Пример 3. Ртуть попадает в ОС в основном через атмосферу, а накопление ее происходит в основном в водной среде. Некоторые водные микроорганизмы превращают ртуть в органические соединения: метилртуть и диметилртуть. Метилртуть аккумулируется живыми организмами. Например, коэффициент накопления рыбами — более 10^3 . Образование метил- или диметилртути зависит от кислотности воды. При $pH < 6$ в основном образуется метилртуть, а при $pH > 8$ — в основном диметилртуть. Увеличение кислотности (при совместном действии с SO_2 !) вызывает накопление ртути.

Пример 4. Классическим примером образования в результате химической реакции более токсичных веществ является фотохимический смог «лос-анджелесского» типа. Под воздействием солнечного излучения выхлопные газы автомобилей преобразуются из углеводородов и оксидов азота в озон и фотохимические оксиданты, которые обладают большей токсичностью.

В таблице 1.1 приведены ПДК для некоторых загрязняющих веществ.

Таблица 1.1 - ПДК некоторых распространенных загрязняющих веществ

Вещество	ПДК в атмосфере, мг/ м ³	
	Максимальная разовая	Среднесуточная
Диоксид серы	0,5	0,05
Диоксид азота	0,2	0,04
Оксид углерода	5	3
Пыль (твердые частицы)	0,5	0,15
Формальдегид	0,035	0,003

Величины ПДК необходимы при расчете предельно допустимого количества загрязняющих веществ, которые выделяются в ОС определенными источниками, например: для определения загрязнения атмосферы используется расчет предельно допустимых выбросов (ПДВ), для водоемов – предельно допустимые стоки (ПДС). Суть введения ПДВ и ПДС обусловлена ограничением выбросов на определенной территории всех источников выбросов какого-либо загрязняющего вещества, причем значения ПДК для этого вещества не должны превышать. Если источник выброса единичный, но обладает определенной мощностью, например, электростанция, то ограничивается санитарно-защитная зона, за пределами которой ПДК не должна повышаться. Следовательно, можем говорить, что ПДВ и ПДС есть экологические нормативы для каждого источника выбросов. В случае превышения значений ПДВ и ПДС применяются экономические и административные санкции (штрафы, закрытие предприятий). Достаточно частым является вариант технологической невозможности соблюдения уровней ПДВ и ПДС на отдельных предприятиях, в то же время закрытие предприятий невозможно по социальным и / или экономическим причинам. В подобных случаях предусмотрено установление временно согласованных выбросов (ВСВ) и временно согласованных стоков (ВСС) с одновременным поэтапным снижением уровня загрязняющих веществ. Однако подобные шаги, чаще всего, приводят к ухудшению экологической обстановки.

Достаточно сложным моментом является определение ПДВ и ПДС, которые не наносят ущерб ОС. Связано это с двумя аспектами. Во-первых, расчеты могут быть построены на разных значениях ПДК (выше мы приводили таблицу 1.1, где сопоставляли ПДК_{мр} и ПДС_{сс} и выявили существенную разницу в значениях). Во-вторых, необходимо учитывать абсолютно все источники выбросов, знать их параметры, условия распространения загрязняющих веществ в ОС.

В связи с этим считаем необходимым выявить факторы, которые влияют на распространение загрязняющих веществ в атмосфере.

Принято различать источники загрязнения атмосферы в зависимости от мощности, высоты и температуры выбросов. Если источники загрязнения атмосферы имеют постоянные параметры выбросов, то уровень загрязнения будет зависеть от таких климатических условий, как 1 – направление, условия переноса и распространения примесей в атмосфере; 2 – интенсивность солнечного излучения, которая определяет фотохимические превращения примесей и влияет на возникновение вторичных продуктов загрязнения; 3 – количество и продолжительность осадков, что приводит к вымыванию примесей из атмосферы.

Приведем пример анализа изменения концентраций примесей в приземном слое атмосферы вблизи дымовых и вентиляционных труб в зависимости от расстояния. Наименьший процент концентрации выбросов наблюдается около самого источника выброса, наибольший процент концентрации наблюдаем на некотором расстоянии от трубы. Следовательно, высота трубы влияет на

степень рассеивания примесей в атмосфере и на попадание примесей в приземный слой. Максимального значения концентрация обычно достигает на расстоянии от 10 до 40 высот труб.

Вертикальное распределение температуры и скорость ветра влияют на рассеивающую способность атмосферы. Чем выше, тем ниже температура, однако встречаем случаи инверсии температуры. При инверсии верхний теплый слой воздуха образует «пробку», которая не дает возможности примесям подниматься вверх, в связи с чем их большая часть скапливается в приземном слое.

Влияние ветра на рассеивание примесей двойственное: усиление ветра может способствовать их переносу и рассеиванию, а может и препятствовать их подъему и уносу вверх.

Еще одним вариантом удаления примесей из атмосферы можно назвать осадки, которые как бы «промывают» атмосферу от вредных веществ. Действие туманов противоположно: сочетание тумана с низкой температурой (особенно если наблюдается инверсия температуры) ведет к увеличению концентрации примесей. Примером воздействия тумана на загрязненность атмосферы являются «лондонские смоги», где при тумане наблюдается длительная высокая концентрация вредных примесей.

Помимо вертикальных движений воздуха на распространение примесей в атмосфере влияет и рельеф местности, с помощью которого образуются нисходящие и восходящие потоки воздуха. Нисходящие потоки характерны для подветренных склонов, летом над водоемами; восходящие потоки появляются на пересеченной местности на наветренных склонах, в прибрежных районах. Увеличение приземной концентрации примесей происходит при нисходящих потоках, уменьшение – при восходящих. Если рельеф местности приобретает форму котлована, то происходит застой воздуха и, как следствие, накопление примесей. Замечено, что большее количество приземной концентрации в холмистой местности, меньшее – при ровном рельефе.

В городских условиях значительное влияние на рассеивание примесей оказывают ширина и планировка улиц, водные объекты, что образует наземные препятствия воздушному потоку и приводит к появлению особых метеоусловий в городе.

Данные наблюдения позволяют утверждать, что в зависимости от метеоусловий при постоянных параметрах выбросов уровни загрязнения атмосферы могут отличаться.

Итак, загрязнение окружающей среды – это загрязнение атмосферного воздуха токсичными компонентами отработавших газов автомобилей, транспортный шум, вибрации, электромагнитные излучения, засаливание земляных массивов, загрязнение водоемов и подпочвенных вод, нарушение ландшафта при строительстве автомобильных дорог, водная и ветровая эрозия, усиление геодинамических процессов.

К сожалению, в настоящее время неизбежной составной частью современной жизни становится загрязнение атмосферы.

Данные мониторинга по Республике Казахстан свидетельствуют о колебании ежегодного объема атмосферных загрязнений в пределах 5 – 7 миллионов тонн, причем треть этих загрязнений принадлежит транспортному сектору (в основном – автомобильный транспорт). Национальные природоохранные органы проводили исследования уровня загрязнения атмосферного воздуха областных и крупных промышленных центров республики, в результате которых был обнаружен повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха. Усть-Каменогорск относится к городам, в которых индекс загрязнения атмосферы постоянно выше допустимого показателя. Анализ показал, что в загрязнении атмосферы городов Казахстана значительная часть приходится на автотранспорт. Так, например, в городах Астана, Караганда, Павлодар, Петропавловск, Тараз, Усть-Каменогорск и Шымкент 80-90% от общего загрязнения воздуха принадлежит автомобильному транспорту.

Влияние автомобильного транспорта на загрязнение окружающей среды, а так же его негативное воздействие на население (очевидно) может оказаться более существенным, чем это кажется из статистики приведенных выше официальных количественных оценок. Проблема заключается в том, что, во-первых, города, промышленные центры, где наблюдается основная деятельность автомобильного транспорта, обладают высокой плотностью населения. Во-вторых, в приземных слоях атмосферы условия для рассеивания вредных примесей считаются наихудшими, а ведь именно там происходят вредные выбросы от автомобилей и протекает основная жизнедеятельность человека. В-третьих, отработавшие газы двигателей автомобилей содержат высококонцентрированные токсичные компоненты, которые являются основными загрязнителями атмосферного воздуха. Время естественного сохранения вредных веществ в атмосфере составляет от десятка суток до полугода.

Наиболее существенный вред ОС и здоровью человека наносят токсичные компоненты отработавших газов автомобилей и автотранспортный шум.

Основным источником загрязнения считаются процессы горения, в результате чего водород и углерод топлива соединяются с кислородом, который находится в атмосфере. При горении генерируется тепло и свет; выделяется углекислый газ и водяные пары. При этом примеси, которые содержатся в топливе, слишком высокая или низкая температура горения, а также неполное сгорание топлива приводят к образованию таких побочных продуктов, как окись углерода, окислы серы и азота, несгоревшие углеводороды, твердые частицы и т.д.

Усредненные данные анализа примесей в атмосфере показывают, что из общего количества выбрасываемых в окружающую среду углеводородов (СН) 60% всей окиси углерода (СО), около 40% всех окислов азота (NO_x) на долю автотранспорта приходится примерно 50% от общего количества. Причем заметим, что в отдельных городских зонах указанные процентные соотношения могут быть иными.

Природные процессы всегда являлись источником загрязнения атмосферного воздуха, однако география природных источников и рассеивание загрязнений в атмосфере в итоге приводили к низким средним концентрациям, хотя некоторые химические соединения образуются от природных источников в довольно больших количествах.

Отличие антропогенных (связанных с деятельностью человека) источников загрязнения от природных состоит в концентрации первых в относительно небольших географических регионах. Следствием этой концентрации является значительное загрязнение атмосферы и нарушение кругооборота веществ в природе. Последствия антропогенных воздействий пока трудно предсказуемы. Так, если существующие темпы сжигания углекислого газа в атмосфере сохранятся, то к 2050 году его концентрация может достигнуть 0,06% с существующих 0,03%, что приведет к серьезным изменениям климата Земли.

Естественно, что наибольшими загрязнителями атмосферного воздуха становятся промышленные предприятия, однако в крупных городах значительную роль в загрязнении атмосферы играет автомобильный транспорт.

Отработавшие автомобильные газы содержат смесь примерно 200 химических элементов и соединений. Основными вредными компонентами отработавших газов принято считать окись углерода (CO), углеводороды (C_xH_y) и окислы азота (NO_x).

Наличие токсичных компонентов в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания (ДВС) обусловлено рядом конструктивных и регулировочных факторов: вид используемых топлив и масел, особенностей протекания процессов сгорания, условий работы и технического состояния автомобиля.

К нетоксичным компонентам отработавших газов, занимающим наибольший объем, относят кислород, азот, углекислый газ и водяные пары.

Токсичные газообразные вещества можно разделить на следующие подгруппы: 1) CO , которая присутствует в карбюраторных двигателях в значительных количествах (до 10%); 2) NO_x , в основном включающую окись (NO) и двуокись азота NO_2 , 3) окислы серы.

Многочисленную подгруппу токсичных веществ составляют углеводороды, которые имеют разные уровни токсичности, но рассматриваются в сумме.

Альдегиды представлены тремя соединениями: акролеином, формальдегидом и ацетальдегидом. Все эти вещества ядовиты и обладают резким запахом.

Сажа и свинец, токсичность которых достаточно высока, находятся в отработавших газах в твердом агрегатном состоянии.

Источниками загрязнения атмосферы, помимо отработавших газов ДВС, становятся картерные газы (при вентиляции картера в атмосферу) и испарения топлива из карбюратора и топливного бака. С картерными газами выделяется

до 20% C_xH_y , на испарения из карбюратора и топливного бака приходится в среднем 15% C_xH_y .

Также источником загрязнения твердыми частицами становится пыль от износа резины (до 1,6 кг в год на один автомобиль) тормозных колодок и дисков сцепления автомобилей, а также продуктами истирания поверхности дорог.

Выше отмечалось, что высокий уровень жизни населения находится в зависимости от транспортных систем, их состояния. Позитивные экономические и социальные последствия использования транспортных систем очевидны. С другой стороны транспорт является одним из факторов создания неблагоприятных условий для жизни людей. Чаще всего речь идет о шуме, который создает транспорт в процессе его эксплуатации и распространяется повсюду, воздействуя, прежде всего, на органы слуха человека.

Шум влияет на многие аспекты нашей жизни. В первую очередь шум имеет свойство накопления, причиняя беспокойство на работе, дома, в минуты отдыха. Шум вызывает раздражение и беспокойство, мешает сосредоточиться. От шума не может спасти даже сон: шум может значительно уменьшить качество сна, хотя сам спящий не осознает этого факта. В городах транспортный шум стал повседневным явлением, и жители города свыклись с постоянным шумом, хотя подобное привыкание часто сопровождается ощущением ухудшения условий жизни в городе.

Негативное воздействие транспортного шума особенно ощущают как жители тихих загородных районов, так и население, проживающее возле автомагистралей, скоростной железнодорожной магистрали, расположенной на эстакаде, аэродрома. Важной задачей становится регулирование уровня транспортного шума и его контроль. Решение этой задачи зависит от многих факторов социального и технического характера. Так, на разработку бесшумного транспорта требуется большое инженерное искусство. Энергия, которая создается современными силовыми установками, может во много раз превосходить энергию, которая расходуется на акустическое излучение, и, тем не менее, небольшая часть акустической энергии может оказывать весьма неблагоприятное воздействие на человека. К примеру, шум дизельного тракторного двигателя с полезной мощностью более 200 кВт излучает акустическую мощность 10 Вт, что является раздражающим фактором для человека. Так же важной проблемой снижения шума становится необходимость значительного снижения акустической мощности до того уровня, который воспринимается человеком как подтверждение достижения желаемого результата.

Проблема транспортного шума не является новой. Уже в древнем Риме были созданы законодательные положения, целью которых было регулирование уровня шума, который создавали транспортные средства того времени. Однако только с начала 60-х и 70-х годов XX века при разработке перспектив развития транспорта стали учитывать его воздействие на окружающую среду. Движение за чистоту окружающей среды стало столь

мощным, что в области транспорта многие перспективные разработки были признаны экологически нежелательными.

Названная экологическая революция стала следствием сочетания возросшей озабоченности общественности с необходимостью поддерживать экологическую чистоту активно развивающегося транспорта, транспортных систем и увеличивающейся урбанизации. Так, например, перевозки автомобильным транспортом в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) за 1960 — 2010 гг. выросли в 3 раза, воздушным — в 2 раза. Городское население этих стран увеличилось на 50%, а число городов с количеством жителей более 1 млн. чел. удвоилось. За тот же период было построено большое количество автодорог, аэропортов и других крупных транспортных сооружений.

При таком развитии транспорта и городов не приходится удивляться тому, что шумовая загрязненность окружающей среды постоянно возрастала.

Таблица 1.2 - Состав отработавших газов (ОГ), %

Двигатели	Состав отработавших газов, %							
	N ₂	O ₂	H ₂ O пар	CO ₂	CO	N _x H _y	C _x H _y	Сажа
Бензиновые	74-77	0,3-0,8	3-5,5	5-12	5-10	До 0,8	0,2-3	до 0,4
Дизельные	76-78	2-18	0,5-4	1-10	0,02-5	До 0,5	До 0,5	до 1,1
Состав выброса %	75	3	5	11	5	0,15	0,5	
Масса выбросов при пробеге 15000 км за год	15т	0,6т	1 т	2,275 т	1 т	30кг	100 кг	

В таблице 1.2 показаны компоненты отработавших газов автомобильного транспорта, которые по воздействию на организм человека можно разделить на:

- токсичные: оксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, углеводороды, альдегиды, свинцовые соединения;
- канцерогенные: бенз(а)пирен;
- раздражающего действия: оксиды серы, углеводороды.

Безусловно, что влияние на человеческий организм названных компонентов ОГ находится в непосредственной взаимосвязи с их концентрацией в атмосфере и продолжительностью воздействия.

Оксид углерода — это газ без цвета и запаха, который при вдыхании попадает в кровь и при взаимодействии с гемоглобином образует комплексное соединение карбоксигемоглобин. Реакция оксида углерода с гемоглобином в 210 раз быстрее, чем с кислородом; результатом указанной реакции становится

развитие кислородной недостаточности. К признаками кислородного голодания относят нарушения в центральной нервной системе, поражение дыхательной системы, снижение остроты зрения. Увеличение среднесуточной концентрации оксида углерода может привести к нарастанию смертности лиц, имеющими сердечно-сосудистые заболевания.

В зависимости от степени концентрации оксида углерода в атмосфере он может вызывать:

- слабое отравление через 1 час ($C=0,05\%$ об.);
- потерю сознания через несколько вдохов ($C=1\%$ об.).

Оксиды азота есть смесь различных оксидов: NO_2 , N_2O_3 , N_2O_4 .

Самым опасным считается NO_2 .

Воздействие оксидов азота на человека приводит к нарушению функций легких и бронхов. Воздействию оксидов азота в большей степени подвержены дети и люди, которые имеют сердечно-сосудистые заболевания.

Оксиды азота в воздухе в зависимости от концентрации вызывают:

- раздражение слизистых оболочек носа и глаз ($C=0,001\%$ об.);
- начало кислородного голодания ($C=0,002\%$ об.);
- отек легких ($C=0,008\%$ об.).

Сернистый ангидрид – бесцветный газ с резким запахом, который при растворении в воде образует сернистую кислоту. При длительном воздействии сернистого ангидрида даже в незначительной концентрации увеличивается смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, возникают бронхиты, астма и другие респираторные заболевания.

В зависимости от степени концентрации сернистого ангидрида в атмосферном воздухе у человека проявляется:

- раздражение слизистой глаз, кашель ($C=0,001\%$ об.);
- раздражение слизистой горла ($C=0,002\%$ об.);
- отравление через 3 минуты ($C=0,004\%$ об.);
- отравление через 1 минуту ($C=0,01\%$ об.).

Углеводороды – группа соединений типа C_xH_y , обладающая неприятным запахом. Результатом фотохимических реакций углеводородов с окислами азота является смог.

Бенз(а)пирен – полициклический ароматический углеводород (ПАУ). При нормальных атмосферных условиях – это кристаллический продукт, который плохо растворяется в воде. Попадая в организм человека, ПАУ постепенно накапливается до критических концентраций и стимулирует образование злокачественных опухолей.

Сажа – твердый фильтрат ОГ, который, в основном, состоит из частиц углерода. Непосредственной опасности для человека не представляет, однако сажа дает ощущение загрязненности воздуха. Сажа является адсорбентом канцерогенных веществ (ПАУ до 2%) и способствует усилению влияния других токсических компонентов, например сернистого ангидрида.

Соединения свинца появляются в ОГ в случаях применения тетраэтилсвинца (ТЭС) - антидетонационной присадки к бензинам. Свинец

обладает способностью накопления в организме человека, в который попадает через дыхательные пути, с пищей и через кожу, приводит к поражению центральной нервной системы и кровеносных органов.

В таблице 1.3 представлено содержание вредных веществ в ОГ дизелей и бензиновых двигателей. Водитель автомобиля в первую очередь подвергается воздействию токсических составляющих ОГ, об этом свидетельствует проведенный анализ воздуха в кабинах транспортных средств, который выявил предельно-допустимые нормы концентрации оксида углерода (особенно в кабинах грузовых автомобилей).

Во многих крупных городах концентрация оксида углерода превышена допустимой нормы в 20 – 30 раз, именно этот фактор, по мнению врачей, влияет на высокую смертность от инфаркта миокарда.

Концентрация оксидов азота в городах увеличивается в 10—100 раз. Поступающие в атмосферу оксиды азота сохраняются в ней в течение 3—4 дней. В результате фотохимических реакций оксида азота на солнечном свете образуется диоксид азота NO_2 , который вместе с углеводородами является причиной образования токсичных туманов, называемых смогами.

Таблица 1.3 - Содержание вредных веществ в отработавших газах

Вредное вещество ОГ	Содержание в ОГ ДВС	
	Дизели	Бензиновые
Оксид углерода	0,005 - 0,5% об.	0,25 - 10% об.
Оксиды азота в пересчете на азот	0,004 - 0,5% об.	0,01 - 0,8% об.
Сернистый ангидрид	0,003 - 0,5% об.	-
Углеводороды в пересчете на углерод	0,01 - 0,5%	0,27 - 0,3%
Бенз(а)пирен	до 10 мкг/м ³	до 20 мкг/м ³
Сажа	до 1,1г/м ³	до 0,4 г/м ³
Соединение свинца	—	Выбрасывается до 85% соединений свинца (от кол-ва введенного в бензин с ТЭС)

Время фактического нахождения сернистого газа в атмосфере достигает 10 часов. Выбросы SO_2 приводят к выпадению сернокислотных осадков, что способствует закислению почвы, воды и разрушению облицовки зданий.

Отсутствуют нормы содержания углекислого газа в атмосферном воздухе. Выявлено, что длительность существования CO_2 в атмосфере — 4 года. Повышение концентрации оксида углерода опасно, может привести к возникновению «парникового эффекта», следствием которого является возрастание температуры воздуха у поверхности земли.

При высоком содержании свинца в организме человека проявляются признаки хронического отравления свинцом.

Приводим карту города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области с пунктами контроля за загрязнениями (рисунок 1.1). На ней обозначены следующие пункты контроля за загрязнениями: ПНЗ-1 - проспект Ауэзова, 5, КГУ «Станция Юных техников», балкон, ПНЗ-2 - улица Казахстан, 154Б, АО «Трамвайный парк», диспетчерская, ПНЗ-3 - Южнее Северной промзоны, улица Гастелло, 14, ГУ школа, проходная, ПНЗ-4 - поселок Мирный, улица Пограничная, 59, ГКП «Оскемен Водоканал», обмоточный цех, ПНЗ-5 - улица Путевая, 2, ТОО «Оскемен терминал», проходная, ПНЗ-6 –поселок Защита, улица Делегатская, 36, АО «Кедентранссервис», проходная, ПНЗ-7 - Переносной совмещен с постом №7 Гидромета – улица Первооктябрьская, 126 (железнодорожная станция «Защита»), ПНЗ-8- поселок Новая Согра, улица Менделеева, 13А, ТМК ГКП «Новая Согра», здание мастерской.

Отметим, что оценка последствий загрязнения атмосферы территорий городов и районов должна учитывать следующие аспекты: степень промышленного развития и развития автомобильного транспорта, степень концентрации промышленных предприятий, географические и климатические условия, степень инсоляции (освещения солнечным светом), а также вопросы организации движения автомобильного транспорта.

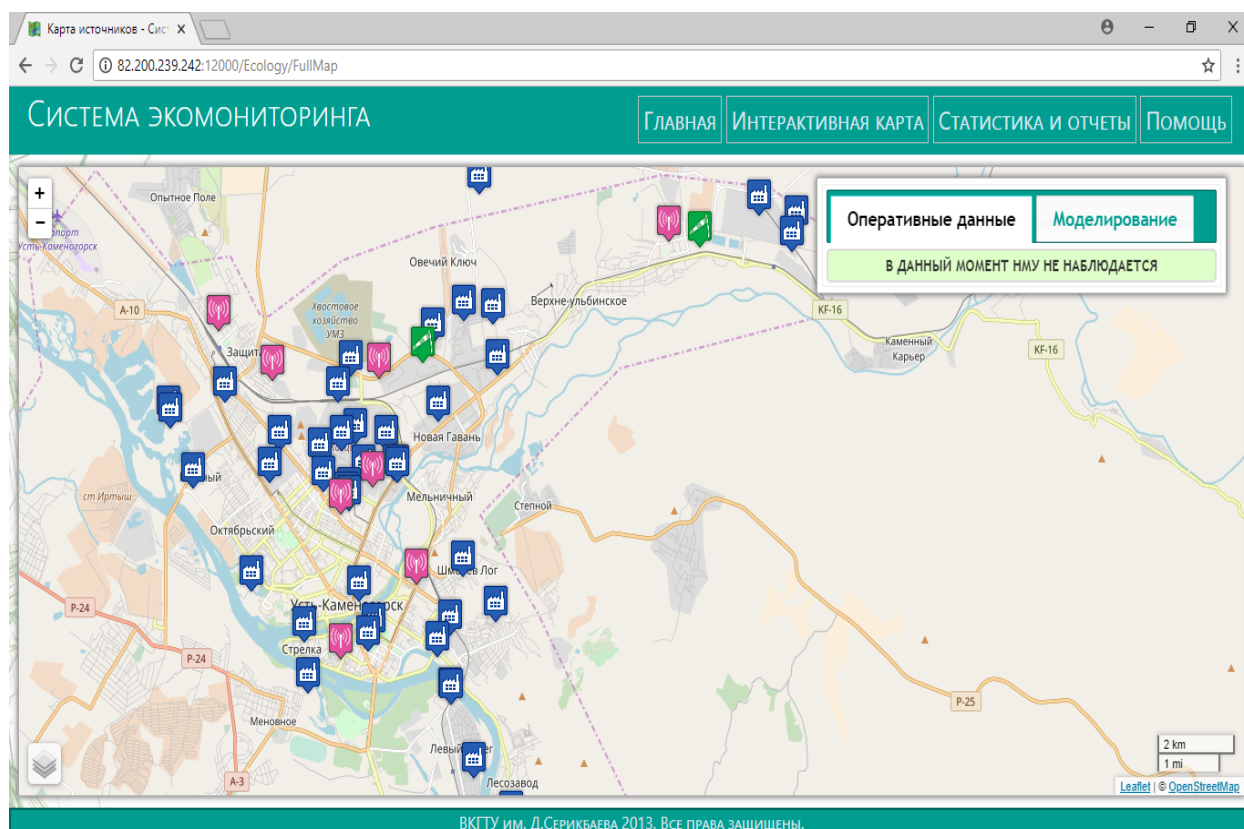


Рисунок 1.1 - Карта города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области с пунктами контроля за загрязнениями

Таким образом, количественная оценка вредных выбросов от автомобильного транспорта в Казахстане крайне затруднена. Это связано с тем, что автомобиль является мобильным источником с стохастическим процессом выделения вредных веществ, а в Республике очень мало оборудования, позволяющего проводить экологические исследования подобных динамических объектов. Наше исследование по расчету мощности выбросов загрязняющих веществ на перегонах, на улично-дорожной сети города от автотранспорта будет проведено для следующих вредных веществ: концентрации оксида и диоксида углерода (CO , CO_2), оксида и диоксида азота (NO , NO_2), диоксида серы (SO_2), озона (O_3), углеводородов (C_xH_y) и свинца (Pb_x).

1.2 Определение интенсивности автотранспортного потока на транспортной сети города

Исследование по расчету количества выбросов загрязняющих веществ на перегонах, на улично-дорожной сети города от автотранспорта основывается на данных об интенсивности автотранспортного потока. Поскольку состояние дорожного движения отражается в данных, характеризующих транспортный поток и улично-дорожную сеть (УДС) города и позволяющих определить нам массу вредного вещества, выбрасываемого в единицу времени, то влияние на окружающую среду совокупности машин, движущихся в составе транспортных потоков, косвенно выражается интенсивностью автотранспортного потока, его составом по типам транспортных средств, плотностью потока, задержкой движения, протяженностью и пропускной способностью магистральных улиц и дорог общего пользования.

Интенсивность транспортного потока (интенсивность движения) N_a – это число транспортных средств, проезжающих через сечение дороги за единицу времени. В качестве расчетного периода времени для определения интенсивности движения принимают год, месяц, сутки, час и более короткие промежутки времени (минуты, секунды) в зависимости от поставленной задачи наблюдения и средств измерения.

На улично-дорожной сети (УДС) города можно выделить отдельные участки и зоны, на которых движение достигает максимальных размеров, а также другие участки, где в то же время в несколько раз меньше. Такая пространственная неравномерность отражает неравномерность размещения грузо- и пассажиро-образующих пунктов и мест их притяжения. На рисунке 1.2 показана картограмма, характеризующая интенсивность транспортных потоков (в автомобилях в час) на магистральных улицах города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области.

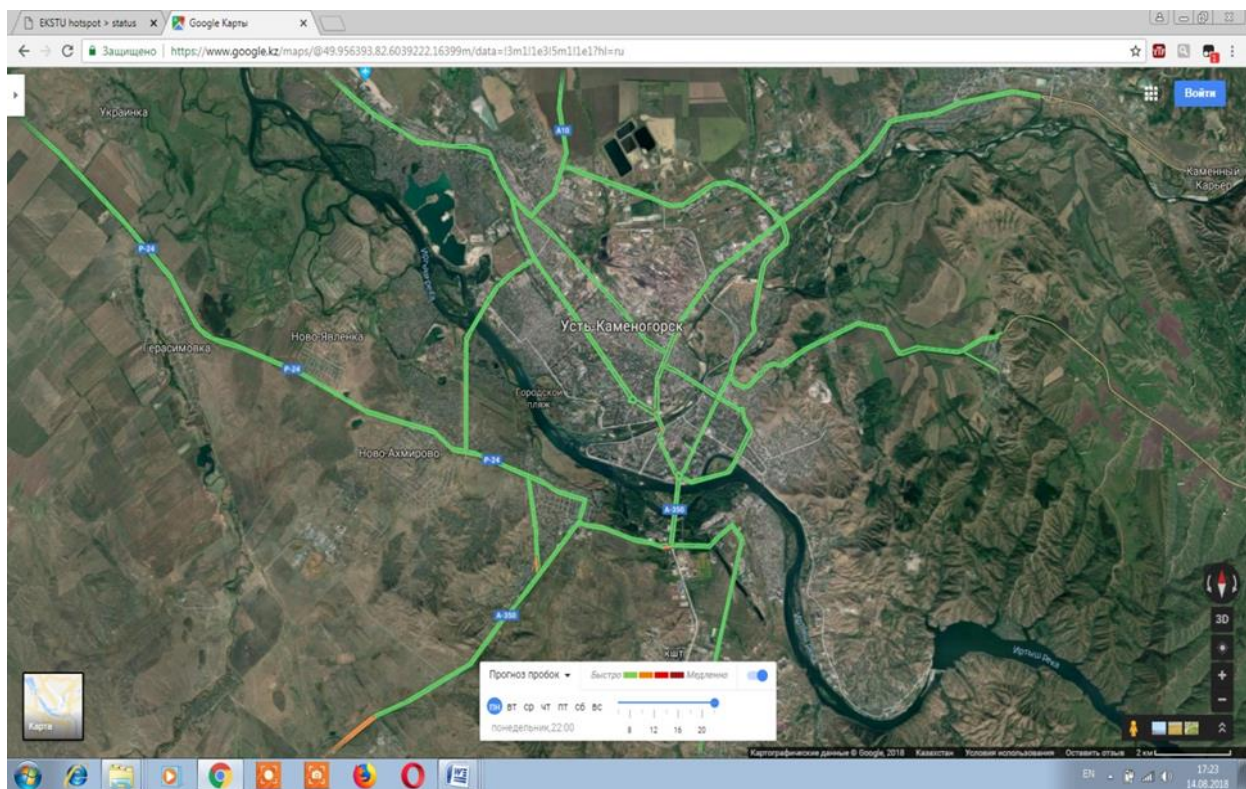
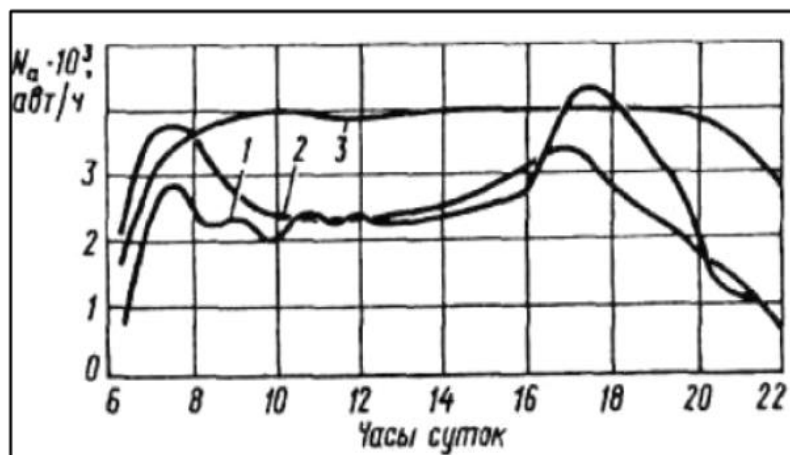


Рисунок 1.2 - Картограмма среднесуточной интенсивности транспортных потоков в городе Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области

Неравномерность транспортных потоков во времени измеряется во временных интервалах: в течение года, месяца, суток и даже часа (рисунки 1.3, 1.4). Кривые на рисунке 1.3 позволяют выделить так называемые «часы пик», в которые возникают наиболее сильные выбросы вредных веществ в атмосферу. Термин «час пик» является условным. Продолжительность наибольшей интенсивности движения может быть больше или меньше часа. Периодом наиболее оживленного движения на большинстве городских и внегородских дорог обычно является 16-часовой отрезок времени в течение суток (примерно с 06 до 22 часов).



1 – движение из центра; 2 – движение к центру; 3 – движение в условиях перенасыщения транспортным потоком

Рисунок 1.3 - Изменение интенсивности автотранспортного потока в течение суток на городской магистрали радиального направления

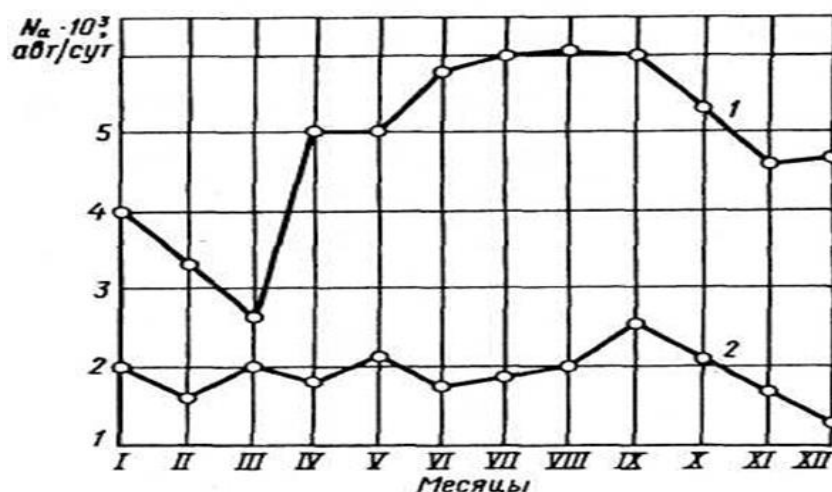


Рисунок 1.4 - Приблизительное изменение интенсивности транспортного потока в течение года

Состав транспортного потока характеризуется соотношением в нем транспортных средств различного типа.

Состав транспортного потока также влияет на загрузку улиц и дорог, что объясняется прежде всего существенной разницей в габаритных размерах автомобилей (таблицы 1.4 - 1.5). Например, длина легковых автомобилей 4 - 5 м, грузовых 6 - 8 м, длина автобусов достигает 11 м, автопоездов - 24 м. В связи с этим при движении в транспортном потоке важно понятие о динамическом габарите автомобиля, которое зависит в основном от времени реакции водителя и тормозных качеств транспортных средств. Под динамическим габаритом L_d автомобиля в плотном транспортном потоке (рисунок 1.5) подразумевается участок дороги, минимально необходимый для безопасного движения

автомобиля в транспортном потоке с заданной скоростью, длина которого включает длину автомобиля l_a и дистанцию d , называемую дистанцией безопасности.

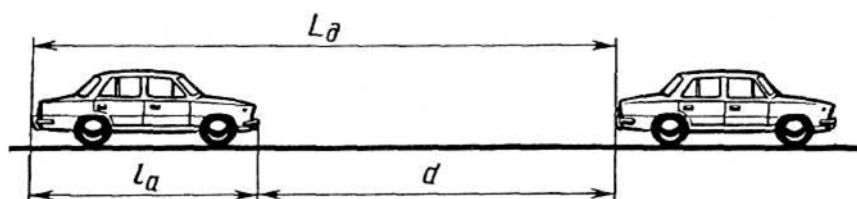


Рисунок 1.5 - Динамический габарит автомобиля в плотном транспортном потоке

Таблица 1.4 - Типы транспортного средства и его характеристики

Тип транспортного средства и его характеристика	Установившееся замедление, м/с ² , не менее	Длина тормозного пути, м, не более*
Легковые автомобили, предназначенные для перевозки людей в количестве не более 8 чел. (кроме водителя), а также созданные на их базе модификации (пикапы, универсалы и т. п.) – категория М ₁	6,8	12,2
Грузовые автомобили с разрешенной максимальной массой до 3,5 т – категория N1	5,7	15,1
Грузовые автомобили с разрешенной максимальной массой более 12 т – категория N3	6,2	16,0
Грузовые автопоезда с тягачом – категория N1	4,6	17,7
* При торможении с начальной скорости 40 км/ч для транспортных средств в снаряженном состоянии		

Плотность транспортного потока q_a является пространственной характеристикой, которая определяет степень стесненности движения транспорта на полосе дороги. Ее измеряют числом транспортных средств, приходящихся на 1 км протяженности дороги. Практические исследования показали, что этот показатель колеблется в пределах 170 - 185 авт./км.

Задержкой движения является показатель, на который должно быть обращено особое внимание при моделировании распространения выбросов вредных веществ от городского автотранспорта. К задержкам относятся потери времени на все вынужденные остановки транспортных средств не только перед перекрестками, железнодорожными переездами, при заторах на перегонах, но также из-за снижения скорости транспортного потока по сравнению со сложившейся средней скоростью свободного движения на данном участке дороги.

Таблица 1.5 - Характеристики транспортных средств

Категория ТС	Тип ТС	Разрешенная максимальная масса, т	Примечание
M ₁	ТС с двигателем, предназначенные для перевозки пассажиров и имеющие не более 8 мест для сидения (кроме места водителя)	Не нормируется	Легковые автомобили
M ₂	То же, имеющие более 8 мест для сидения (кроме места водителя)	До 5,0	Автобусы
M ₃	То же, имеющие более 8 мест для сидения (кроме места водителя)	Свыше 5,0	Автобусы, в том числе сочлененные
N ₁	ТС с двигателем, предназначенные для перевозки грузов	До 3,5	Грузовые автомобили, специальные автомобили
N ₂	ТС с двигателем, предназначенные для перевозки грузов	Свыше 3,5 до 12,0	Грузовые автомобили, автомобили-тягачи, специальные автомобили
N ₃	ТС с двигателем, предназначенные для перевозки грузов	Свыше 12,0	Грузовые автомобили, автомобили-тягачи, специальные автомобили
O ₁	ТС без двигателя	До 0,75	Прицепы одноосные

Продолжение таблицы 1.5

Категория ТС	Тип ТС	Разрешенная максимальная	Категория ТС
O ₂	ТС без двигателя	Свыше 0,75 до 3,5	Прицепы и полуприцепы, за исключением категории O ₁
O ₃	ТС без двигателя	Свыше 3,5 до 10,0	Прицепы и полуприцепы, за исключением категории O ₁
O ₄	ТС без двигателя	Свыше 10,0	Прицепы и полуприцепы, за исключением категории O ₁

В качестве расчетной скорости для городской магистрали можно принять разрешенный Правилами дорожного движения Республики Казахстан предел скорости в населенных пунктах (60 км/ч). Исходными для определения задержки могут быть приняты нормативная скорость сообщения или нормативный темп движения для данного типа дороги, если таковые будут установлены. Например, если на дороге расчетная скорость $v_p = 60$ км/ч, что соответствует темпу движения без задержек 60 с/км, а установленная опытной проверкой фактическая скорость $v_\phi = 30$ км/ч (темп движения – 120 с/км), то потери времени каждым автомобилем в потоке составляют 60 с/км. Если длина l рассматриваемого участка магистрали равна, например, 5 км, то условная задержка каждого автомобиля составит 5 минут. Общие потери времени для транспортного потока:

$$T_\Delta = N_a t_\Delta T \quad (1)$$

где t_Δ – это средняя суммарная задержка одного автомобиля (секунды); T – продолжительность наблюдения (час).

Задержки движения в реальных условиях можно разделить на две основные группы: на перегонах дорог и на пересечениях. Задержки на перегонах могут быть вызваны маневрирующими или медленно движущимися транспортными средствами, пешеходным движением, помехами от стоящих автомобилей, в том числе при погрузочно-разгрузочных операциях, а также заторами, связанными с перенасыщением дороги транспортными средствами.

Задержки на пересечениях обусловлены необходимостью пропуска транспортных средств и пешеходов по пересекающим направлениям на нерегулируемых перекрестках, простоями при запрещающих сигналах светофоров.

В условиях несоответствия развития УДС и численности парка транспортных средств усложняются условия движения, возникают заторы на городских магистралях.

Обычно под затором подразумевается неподвижное состояние транспортного потока вследствие его предельного уплотнения из-за того, что интенсивность прибывающего транспортного потока значительно превышает фактическую пропускную способность данного участка УДС (перекрестка, перегона и т.д.). Однако заторовые состояния весьма различны как по своим причинам и сопутствующим факторам, так и по масштабам и длительности. На основе обобщения рассматривается следующая классификация заторов: случайные и регулярные («пульсирующие»). Случайные заторы могут возникать в любых достаточно неожиданных точках УДС и быть вызваны ДТП. В это время пропускная способность проезжей части может упасть на 50 - 100 %. Такая же ситуация возникает в результате аварий коммуникаций, расположенных под проезжей частью (водо- и газопровода, электроснабжения) и требующих немедленных действий соответствующих аварийных служб с (полным или частичным) закрытием проезжей части дороги.

Регулярные заторы возникают в одних и тех же местах и чаще всего на перекрестках со светофорным регулированием, которые не способны пропустить требуемое число автомобилей, или в местах, где длительное время ведутся ремонтно-восстановительные работы с частичным закрытием дороги. Часто они представляют собой не полный затор (неподвижное скопление автомобилей), а «пульсирующий» поток, продвигающийся во время зеленого сигнала светофора.

Заторы приводят к увеличению расхода топлива, что резко отрицательно влияет на экологическое состояние окружающей среды. Рост расхода топлива и доли работы автомобильных двигателей в неустановившемся режиме и на холостом ходу – это факторы, которые могут на 30% и более повысить выброс в атмосферу загрязняющих веществ, пагубно влияющих на здоровье людей. Заторы характеризуются длительностью и числом вовлеченных в них транспортных средств. Последний показатель может ориентировочно определяться длиной очереди автомобилей (плотностью потока в неподвижном состоянии).

Пропускная способность дороги как одна из характеристик состояния дорожного движения показывает уровень функционирования путей сообщения. Простейшее определение этого понятия сводится к тому, что под пропускной способностью дороги понимают максимально возможное число автомобилей, которое может пройти через сечение дороги за единицу времени.

Однако необходимо отметить, что, рассматривая движение автомобилей и оценивая пределы возможной интенсивности потока, мы характеризуем по существу не дорогу, а комплекс водитель-автомобиль-дорога-среда (ВАДС). Это объясняется тем, что характеристики транспортных средств и водителя могут оказывать такое же влияние на пропускную способность, что и параметры дороги. Так, зарубежные исследования показали, что если полностью

заменить человека-водителя автоматической системой управления автомобилями, то пропускная способность полосы движения может увеличиться в 2 раза. Большое влияние на ее фактическое значение может оказывать состояние среды С: фактическая пропускная способность особенно падает при сильном дожде, тумане, обильном снегопаде, гололедице [35].

Таким образом, для моделирования распространения выбросов вредных веществ от городского автотранспорта нами определены характеристики состояния дорожного движения, необходимые данные, характеризующие транспортный поток и улично-дорожную сеть города: интенсивность транспортного потока, его состав по типам транспортных средств, плотность потока, задержки движения, протяженность и пропускная способность магистральных улиц и дорог общего пользования. В качестве расчетной скорости для городской магистрали нами принят разрешенный предел скорости в населенных пунктах: 60 км/ч [35].

1.3 Оценка энергоэкологического воздействия автотранспортных потоков на окружающую среду города Усть-Каменогорска

Работа автомобильного транспорта приносит обществу пользу, поэтому при оценивании его воздействия на окружающую среду проводятся пути отыскания способов его использования с наименьшим вредом для природы и общества.

Поставленная перед нами задача осуществления мониторинга воздушного бассейна города путем моделирования процесса загрязнения атмосферы автотранспортом привела нас к вопросу о критерии оценки.

Мы предлагаем рассмотреть оценку объема энергоэкологического воздействия автотранспортных потоков на улично-дорожную сеть города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области. При этом предполагается, что в автотранспортных потоках участвует весь автопарк, который равномерно распределен по улично-дорожной сети.

В работах [112] расчет объема энергоэкологического воздействия автотранспортных потоков реализовался с наложением равномерной сетки на карту города и с использованием клеточной функции улично-дорожной сети (УДС).

В данном случае в качестве сетки мы рассматриваем весь город и улично-дорожную сеть города в качестве графа (перекрестки это – вершины, перегоны это - ребра). Ребро графа имеет следующие характеристики: протяженность, количество полос, скоростное ограничение, нагрузка и наличие светофоров.

Для Усть-Каменогорска характерно наличие трех категорий дорог в одном направлении: трехполосных (пр. Независимости, пр. Абая и т.д.), двухполосных (ул. Потанина, ул. Бурова и т.д), однополосных (рисунок 1.6) [109].

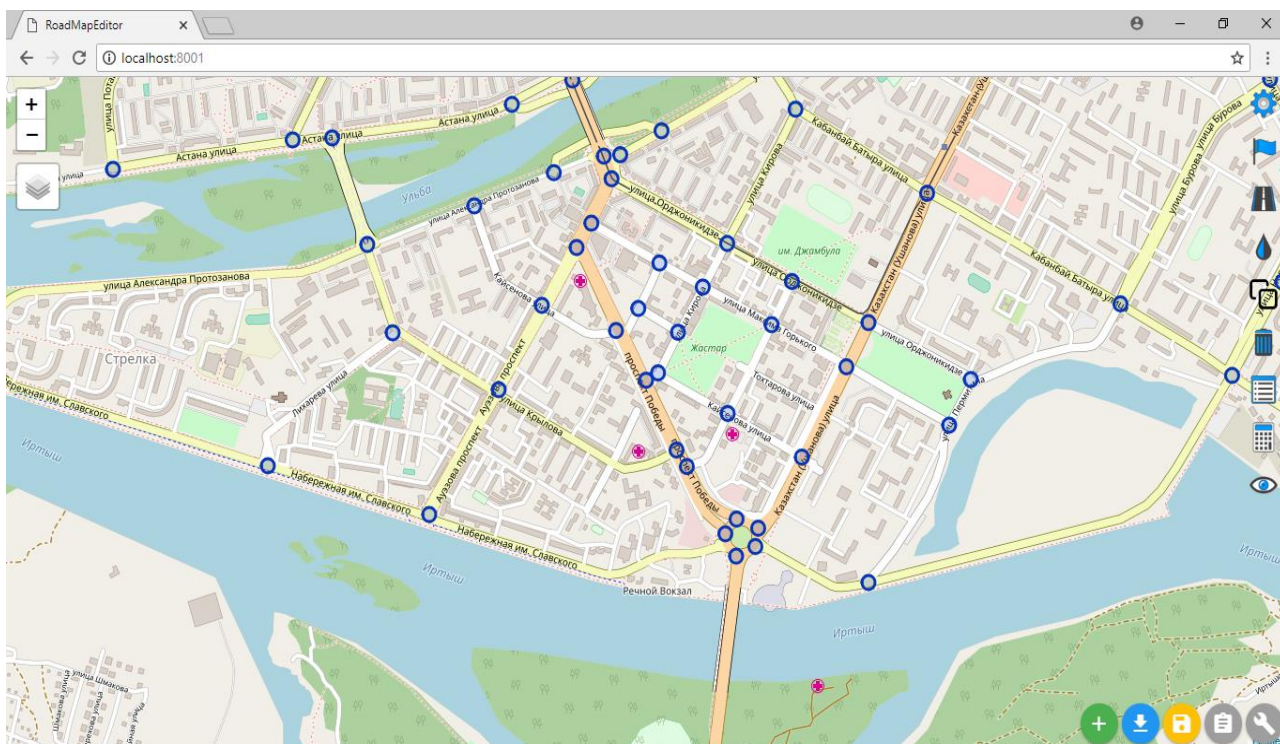


Рисунок 1.6 - Карта города Усть-Каменогорска представленная в виде вершин графа

Для моделирования процесса загрязнения атмосферы автотранспортом нами проанализировано состояние автотранспортных потоков города на основе данных, полученных от Управления административной полиции Департамента Внутренних дел ВКО на 1 августа 2018 года (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Данные о зарегистрированных авторанспортных средствах в городе Усть-Каменогорске (на 01 августа 2018 года)

Тип автотранспорта	Количество зарегистрированных авторанспортных средств, единиц		Всего
	по физическим лицам	по юридическим лицам	
Легковые	81947	7654	89601
Грузовых	3509	5021	8530
Автобусы	959	1310	2269
Мотоциклы	1928	38	1966
Прицепы	3809	1510	5319

Таким образом, общее количество общественного транспорта – 2269 единиц, общее количество автомобилей в автопарке города $M_{a.п.} = 100400$ единиц (таблица 1.6). Суммарная протяженность УДС по полосам $L_{д} = 820.354$ км.

Предполагаем, что состав автопарка является однородным, состоящим из легковых автомобилей с бензиновыми двигателями, средняя длина одного автомобиля $L_{\text{легк.}}=5$ м.

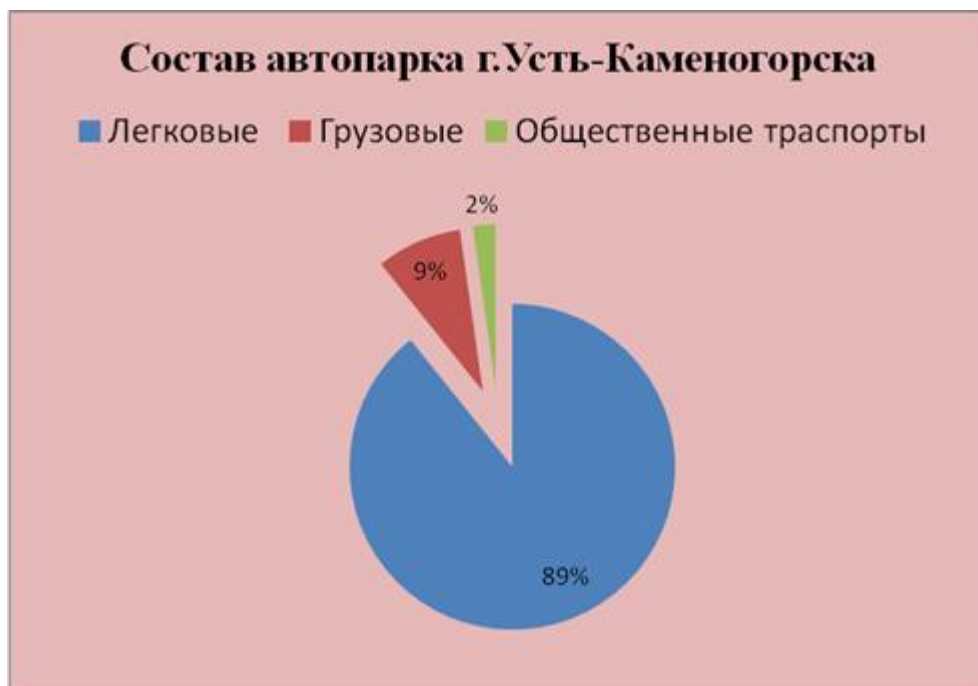


Рисунок 1.7 - Состав автопарка г. Усть-Каменогорска, %

Определяем, что максимальная плотность автотранспортных потоков на одной полосе равна

$$\rho_{\max} = \frac{1000}{l+d} = \frac{1000}{5+2} \approx 140 \left(\frac{ATC}{км} \right), \quad (2)$$

где l - длина одного легкового автомобиля, d - расстояние между автомобилями.

В качестве обоснования данного предположения отметим значительную часть легковых автомобилей, составляющих автопарк города Усть-Каменогорска (диаграмма рисунка 1.7).

Мы предлагаем рассмотреть гипотетическую возможность того, что все автотранспортные средства города перемещаются по городу в течение суток, заполняя улично-дорожную сеть. Тогда средняя плотность всех автотранспортных средств города на УДС при равномерном распределении равна:

$$\rho = \frac{M_{a.n.}}{L_d} = \frac{100400}{820,354} = 122,386 \left(\frac{ATC}{км} \right) \quad (3)$$

Поскольку по правилам дорожного движения в населенном пункте максимальная скорость допустима до 60 км/час и закон «плотность-скорость» на одной полосе дороги является квадратичным [112], то, учитывая, что максимальная плотность автотранспортных потоков на одной полосе

$\rho_{\max} \approx 140 \left(\frac{ATC}{\text{км}} \right)$, мы получаем уравнение состояния плотности движения автотранспортных средств:

$$f(\rho) = g_{\max} \left(\frac{\rho_{\max}^2 - \rho^2}{\rho_{\max}^2} \right) \quad (4)$$

Это уравнение (4) можно рассматривать на дорогах, где отсутствуют светофоры. Рассмотрим элементарную улично-дорожную сеть города с системой светофоров. В качестве функции состояния плотности движения автотранспортных средств для перегонов со светофорами примем формулу [Луканин В.Н., Буслаев А.П., Яшина М.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда - 2]:

$$g(\rho) = (1 - \nu)f(\rho_1) + \nu f(\rho) \quad (5)$$

где $\rho_1 = \frac{l * \rho}{l - f(\rho) * T * (T - T/m)}$ - плотность перегона со светофорами, l - длина перегона между светофорами, T - период регулирования светофора (час), ν - доля зеленого света, $\rho = \frac{ATC}{l}$ - плотность свободного движения, m - количество АТС на перегоне.

На рисунке 1.8 представлены графики функции состояния при следующих значениях: $l = 0.5 \text{ км}$, $\nu = 0.5$, $T = 1/60 \text{ час}$, $m = l\rho$. Из графика видно, что при меньших расстояниях светофоров скорость потока уменьшается.

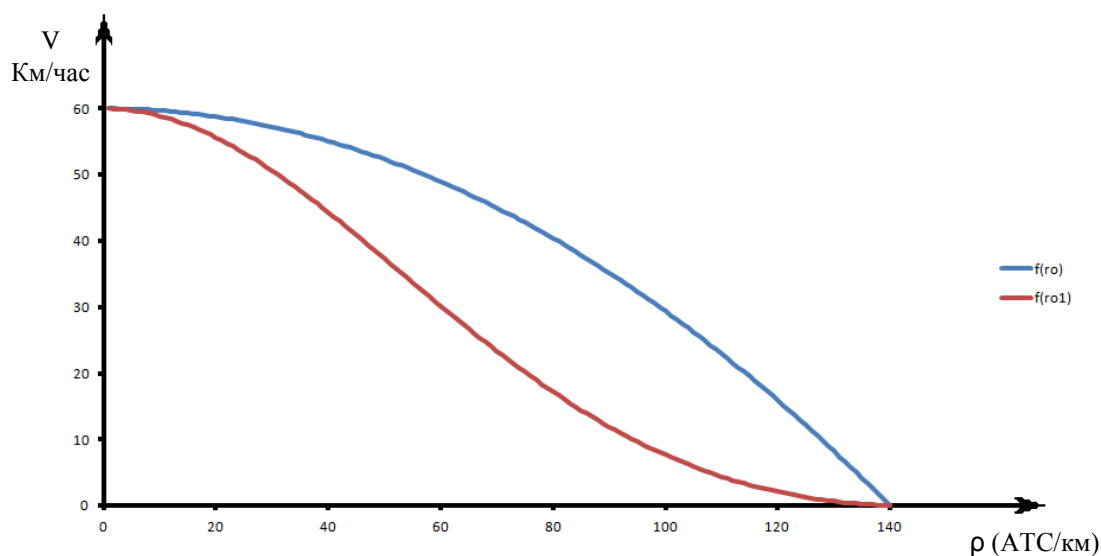


Рисунок 1.8 - Функции состояния закона «плотность-скорость» для перегонов со средствами регулирования движения и без них

Имея функцию состояния, можем определить среднюю скорость движения транспортных средств на загруженных и не загруженных участках города.

Так как интенсивность транспортных потоков зависит от времени суток, недель, месяца и времени года, то нужно рассмотреть зависимость по времени. По проведенным подсчетам интенсивности автотранспортных потоков по времени в течение суток на перекрестке «Дворец Спорта» города Усть-Каменогорска нами было определено число автотранспортных средств в потоках путем натурального наблюдения, что показано на рисунке 1.9 [128].

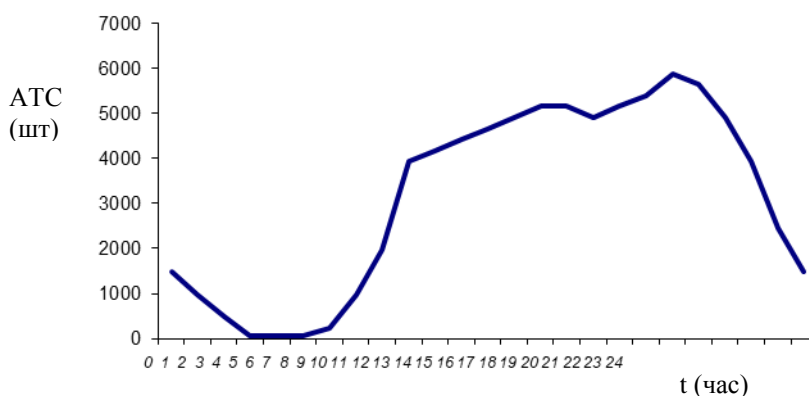


Рисунок 1.9 - Колебание интенсивности АТС в течение суток на перекрестке Дворец Спорта

Проведенные подсчеты путем натурального наблюдения за автотранспортными средствами на основных перекрестках города показали, что самое максимальное количество АТС попало на «час-пик» в период от 18.00 часов до 19.00 часов: 5888 АТС/час. Кроме того, согласно «Методической рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» [129], разработанной автономной некоммерческой организацией «Институт Проблем Безопасности Движения», Московским автомобильно-дорожным государственным техническим университетом (МАДИ), Иркутским государственным техническим университетом, Тихоокеанским государственным университетом, ФГУП «РОСДОРНИИ», ООО «ИНЭМДорТранс», рекомендуется при расчетах пропускной способности исходить из величины максимальной практической пропускной способности, приведенной в таблице 1.7.

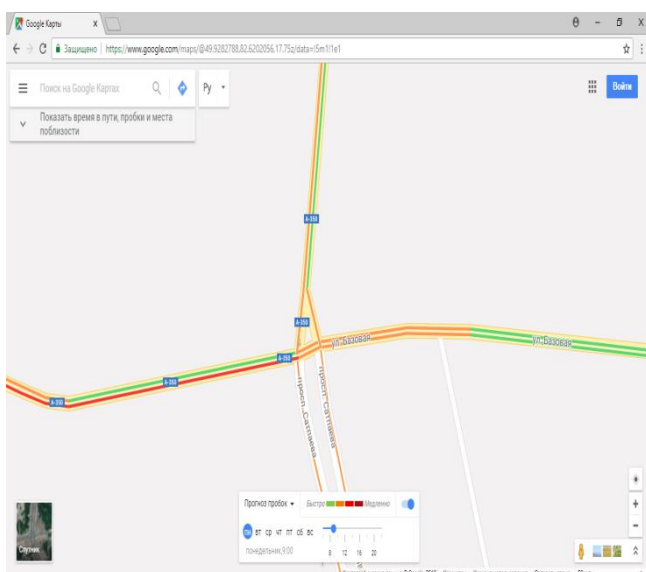
Таблица 1.7 - Максимальная практическая пропускная способность АТС

Автомобильные дороги	P_{max} , легковых авт./ч
Двухполосные	3600 в оба направления
Трехполосные	4000 в оба направления
Четырехполосные без разделительной полосы	2100 по одной полосе
Четырехполосные с разделительной полосой	2200 по одной полосе

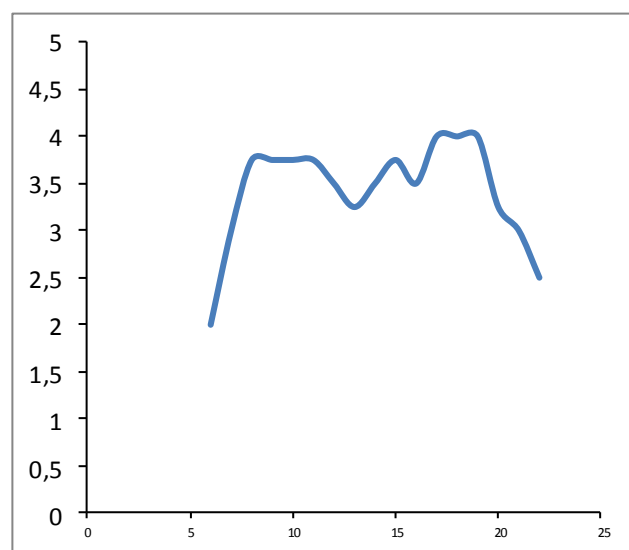
Продолжение таблицы 1.7

Автомобильные дороги	P_{\max} , легковых авт./ч
Шестиполосные без разделительной полосы	2200 по одной полосе
Шестиполосные с разделительной полосой	2300 по одной полосе
Автомобильные магистрали, имеющие восемь полос	2300 по одной полосе

Дополнительно нами был проведен анализ по данным спутниковой интерактивной карты в режиме онлайн Google maps. В Google maps интенсивность транспортных потоков дается цветовой гаммой из четырех цветов с 06.00 часов до 22.00 часов. По цвету пользователь может определить приблизительное количество автотранспортных средств. Например, зеленый – движение транспортных потоков свободное; оранжевый – движение транспортных потоков осуществляется с некоторыми помехами; красный – с небольшими задержками; бордовый – задержки. Для обработки результатов данных об интенсивности транспортных потоков по карте города Усть-Каменогорска четыре цвета мы нормировали в отрезке $[0;1]$. Полученные результаты о динамике изменения интенсивности автотранспортного потока в течение суток по карте города Усть-Каменогорска на один день показаны на рисунках 1.10-1.15.

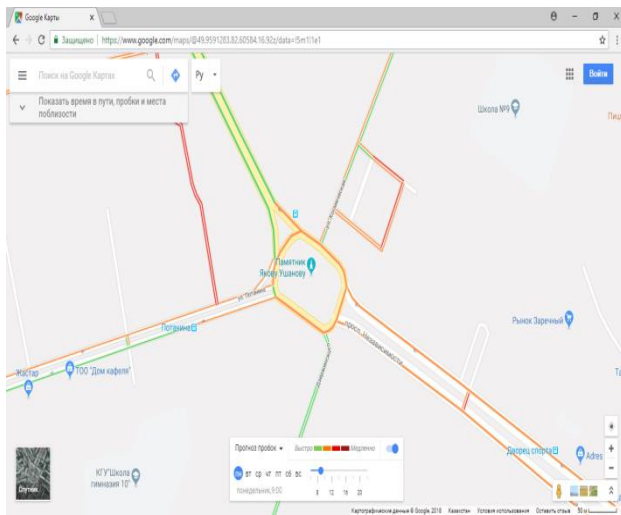


а) данные в цветовой гамме

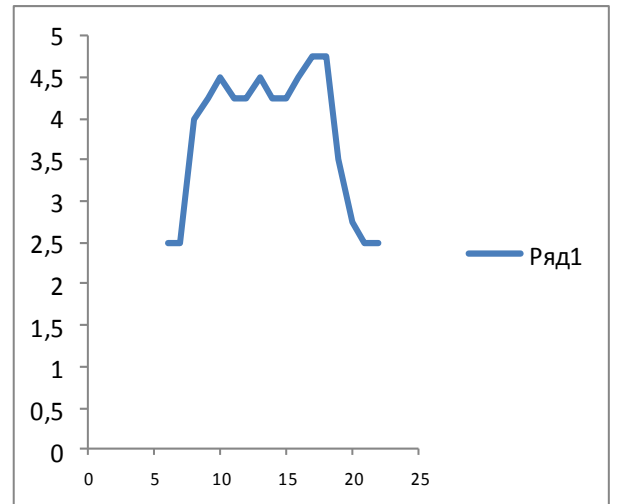


б) приближенные числовые данные в течение суток

Рисунок 1.10 - Динамика изменения интенсивности автотранспортного потока в течение суток на остановке «Дворец бракосочетаний» города Усть-Каменогорска

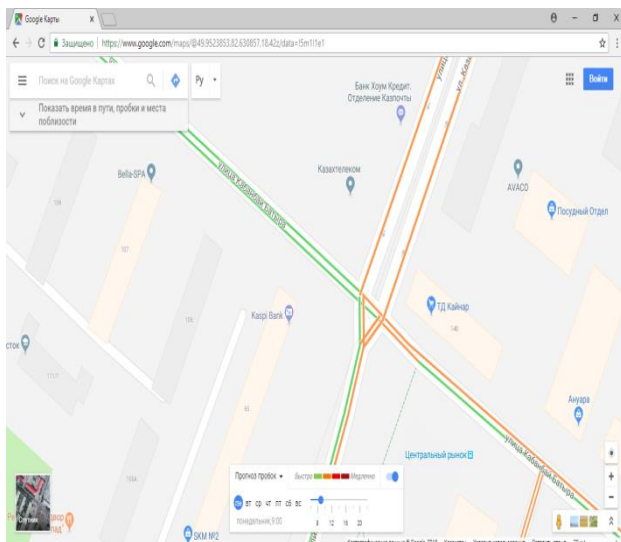


а) данные в цветовой гамме

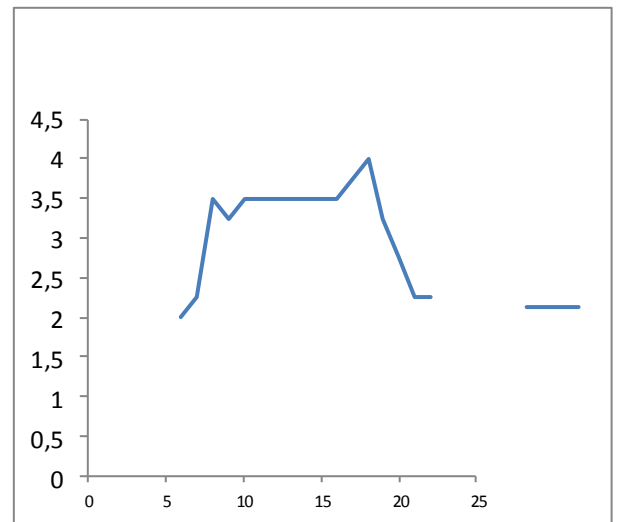


б) приближенные числовые данные в течение суток

Рисунок 1.11 - Динамика изменения интенсивности автотранспортного потока в течение суток на площади им. Я.В. Ушанова города Усть-Каменогорска

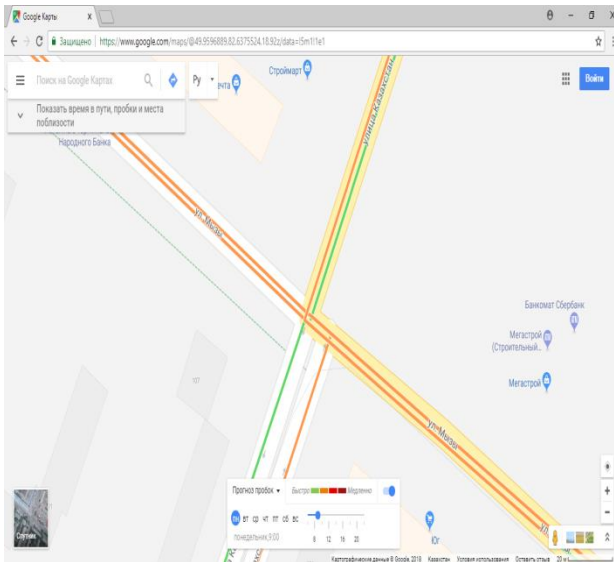


а) данные в цветовой гамме

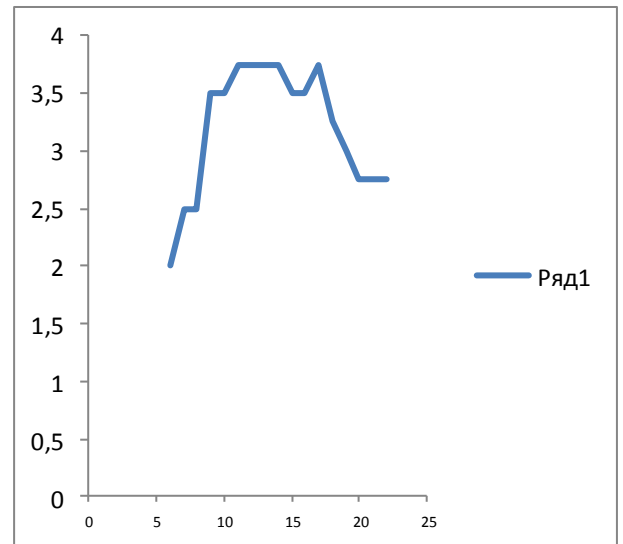


б) приближенные числовые данные в течение суток

Рисунок 1.12 - Динамика изменения интенсивности автотранспортного потока в течение суток на перекрестке «Центральный рынок», улица Кабанбай Батыра, 142/4 города Усть-Каменогорска

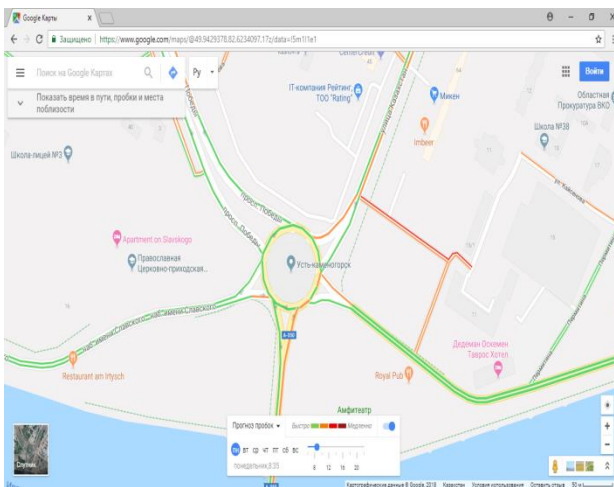


а) данные в цветовой гамме

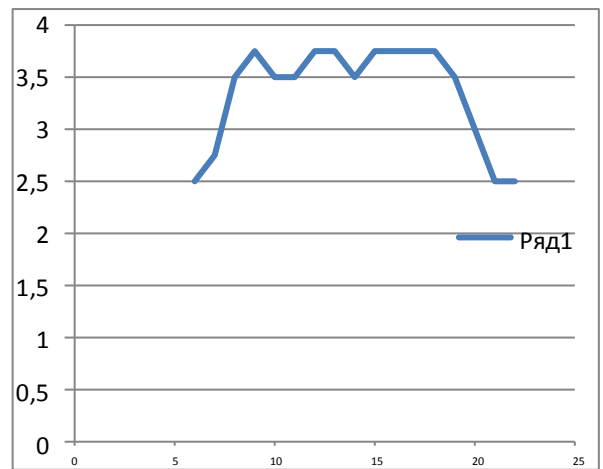


б) приближенные числовые данные в течение суток

Рисунок 1.13 - Динамика изменения интенсивности автотранспортного потока в течение суток на перекрестке улицы Мызы и улицы Казахстан города Усть-Каменогорска



а) данные в цветовой гамме



б) приближенные числовые данные в течение суток

Рисунок 1.14 - Динамика изменения интенсивности автотранспортного потока в течение суток на круговом движении при декоративном сооружении «Байтерек» (пересечение улиц Казахстан, проспекта Победы, выезд на /с Иртышского моста) города Усть-Каменогорска

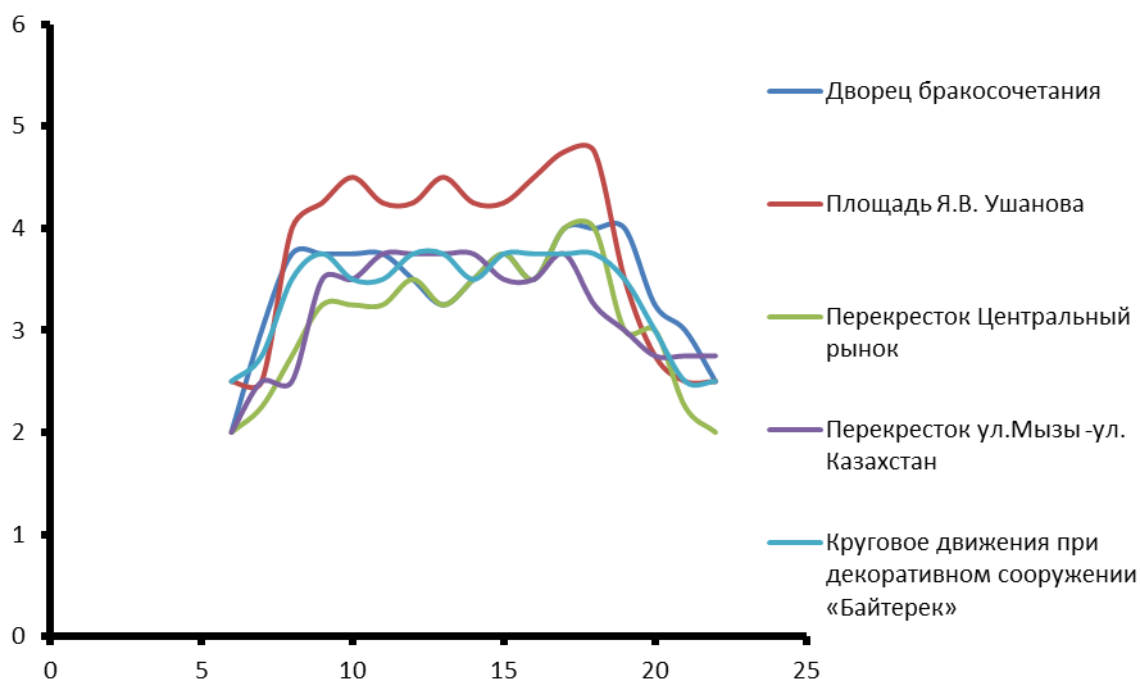


Рисунок 1.15 - Интенсивность АТП по данным Google maps на один день

Из рисунка 1.15 видно, что на всех перекрестках наблюдается соответствие периодов наиболее оживленного движения. Если самую максимальную интенсивность АТП считать как среднее арифметическое значение таблицы 1.6 и по рисунку 1.15 можно считать около 7140 АТС/час.

По нашим расчетам самое максимальное значение 4,75 соответствует 7140 АТС/час. Исходя этого рассуждения, с помощью пропорции получим значения для остальных коэффициентов:

Таблица 1.7 – Соответствие значения коэффициентов к количеству машин

Коэффициенты	Количество АТС/час
4,75	7140
4,5	6764
4,25	6388
4	6013
3,75	5637
3,5	5261
3,25	4885
3	4509
2,75	4134
2,5	3758
2,25	3382
2	3006
1,75	2631
1,5	2255

Считая, все автотранспортные средства оснащены карбюраторными двигателями, оцениваем скорость движения на каждом перегоне по формуле (6). А по скорости автотранспортных средств вычисляем расход топлива.

Для легковых автомобилей пробеговый расход топлива в зависимости от скорости движения вычисляется по следующей формуле [112]:

$$Q_s(\mathcal{V}) = 0.000039^2 - 0.0059 + 0.317, \frac{\text{л}}{\text{км} \cdot \text{шт}} \quad (6)$$

Расход топлива на холостом ходу:

$$Q_h = 608 \frac{\text{л}}{\text{ч}} = 0,8 \frac{\text{л}}{\text{ч}} \quad (7)$$

Расход топлива в зависимости от скорости грузовых автомобилей вычисляется по формуле:

$$Q_s(\mathcal{V}) = 0.000149^2 - 0.029 + 0.808, \frac{\text{л}}{\text{км} \cdot \text{шт}} \quad (8)$$

для общественного транспорта

$$Q_s(\mathcal{V}) = 0.0001259^2 - 0.019 + 0.55, \frac{\text{л}}{\text{км} \cdot \text{шт}} \quad (9)$$

По приведенным выше формулам вычисляем расход топлива по всем участкам города за один час.

Выбросы вредных веществ для легковых автомобилей вычисляются по формулам [112]:

$$Em_{CO}(\mathcal{V}) = 0.003609 * \mathcal{V}^2 - 0.325 * \mathcal{V} + 10.0007, \frac{\text{г}}{\text{км}}$$

$$Em_{CO_2}(\mathcal{V}) = 0.002619 * \mathcal{V}^2 - 0.522 * \mathcal{V} + 189.46, \frac{\text{г}}{\text{км}} \quad (10)$$

$$Em_{C_xH_y}(\mathcal{V}) = 0.0000709 \Gamma * \mathcal{V}^2 - 0.013 * \mathcal{V} + 1.511, \frac{\text{г}}{\text{км}}$$

$$Em_{NO_x}(\mathcal{V}) = 0.0003795 \Gamma * \mathcal{V}^2 - 0.034 * \mathcal{V} + 1.734, \frac{\text{г}}{\text{км}}$$

$$Em_{Pb_x}(\mathcal{V}) = 0.000000303 * \mathcal{V}^2 - 0.00005758 * \mathcal{V} + 0.023, \frac{\text{г}}{\text{км}}$$

$$Em_{SO_2}(g) = 0.0000018183 * g^2 - 0.0003273 * g + 0.133, \frac{г}{км}$$

По техническим характеристикам и по расходу топлива можно вычислить количество выбросов вредных веществ на каждый вид транспортных средств.

Учитывая интенсивности транспортных средств в течение суток, можно вычислить общее количество выбросов за сутки и за год.

Таким образом, зная почасовую интенсивность транспортных потоков и скорости движения потока на каждом перегоне и перекрестках, мы вычислили мощность выброса вредных веществ от автомобильного транспорта на период наиболее оживленного движения. Тем самым была проведена оценка энергоэкологического воздействия автотранспортных потоков на окружающую среду города Усть-Каменогорск.

1.4 Краткие выводы

В данном разделе были рассмотрены проблемы мониторинга загрязнений окружающей среды при эксплуатации автотранспорта. Материалы исследования определили факторы, влияющие на распространение загрязняющих веществ в атмосфере. На основе задач и структуры системы мониторинга окружающей среды были определены критерии оценивания состояния окружающей среды и допустимые нормы воздействия на нее. С целью осуществления мониторинга мощности выбросов загрязняющих веществ на перегонах, на улично-дорожной сети города от автотранспорта планируется провести количественную оценку вредных выбросов автомобильного транспорта по следующим критериям: концентрации оксида и диоксида углерода (CO, CO₂), оксида и диоксида азота (NO, NO₂), диоксида серы (SO₂), озона (O₃), углеводородов (C_xH_y) и свинца (Pb_x).

Было проведено исследование состава автомобильного транспорта города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области для оценки уровня загрязнения атмосферы. Для моделирования распространения выбросов вредных веществ от городского автотранспорта проведен сбор информации о состоянии дорожного движения по данным, характеризующим транспортный поток и улично-дорожную сеть города: интенсивность транспортного потока, его состав по типам транспортных средств, плотность потока, задержки движения, протяженность и пропускная способность магистральных улиц и дорог общего пользования.

2 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ ГОРОДА

2.1 Математическое моделирование переноса примесей вредных выбросов от автотранспорта в атмосфере города

В данном исследовании для разработки информационной системы мониторинга переноса примесей вредных выбросов от автотранспорта в атмосфере города была проведена работа по поиску математической модели расчета этого процесса. Программная реализация модели распространения примесей является результатом математического моделирования переноса загрязняющих веществ атмосферного воздуха, где установлено, что построение единой классификации моделей распространения примесей от линейных источников представляет трудноразрешимую задачу в виду многогранности и многоаспектности подходов к моделированию. В работе предпринята попытка упорядочить множественные подходы к решению данной задачи.

К настоящему времени уже накоплен достаточно большой опыт в решении задач физики атмосферы и прикладной метеорологии с помощью математических моделей и анализа фактических данных. В обобщенном виде этот опыт представлен в монографиях М.Е. Берлянда, Э.И. Лоренца, Г.И. Марчука [1, 2, 32, 34] и других авторов.

Математические модели исследования атмосферных процессов нелинейны и нестационарны, а формирование гидрометеорологических полей обусловлено следующими факторами: орографическими и термическими неоднородностями подстилающей поверхности, изменчивостью крупномасштабного фонового движения, конденсационными процессами во влажной атмосфере, теплофизическими свойствами почвы, радиационными притоками тепла, турбулентным режимом и др. Преднамеренное и естественное воздействие человека на окружающую среду приводит к появлению дополнительных возмущений, влияющих на формирование исследуемых процессов.

Теоретическую основу математических моделей данного класса составляют уравнения гидротермодинамики атмосферы, уравнения переноса и трансформации примесей, уравнения и соотношения, определяющие прямые и обратные связи в системе и режим взаимодействия воздушных масс и примесей с неоднородной поверхностью земли. Эти уравнения в дифференциальном виде представляют законы сохранения энергии, массы, количества движения и субстанций, которые вместе с законами термодинамики и химии описывают процессы, протекающие в атмосфере, почве, на подстилающей поверхности, и их взаимосвязь. Предполагается, что определены источники и стоки тепла, влаги и примесей естественного и антропогенного происхождения. Различные эффекты, обусловленные деятельностью человека, параметризуются в численных моделях наряду с другими действующими факторами.

Исследуемые процессы построены на единой методологической основе: комплексе численных моделей, взаимосогласованных по пространственно-

временным масштабам Алгоритмическая реализация комплекса осуществляется на базе метода расщепления. Фундаментальное свойство метода расщепления заключается в том, что элементы математических моделей могут рассматриваться на отдельных этапах расщепления формально независимо, но структура всего комплекса должна быть такой, чтобы на всех стадиях численного моделирования сохранялся физический смысл, заложенный в первоначальных формулировках моделей. Чтобы это обеспечить, для построения дискретных численных моделей метод расщепления используется в сочетании с вариационным принципом. При такой комбинации проявляются одновременно лучшие свойства обоих типов: метод расщепления упрощает построение и реализацию моделей, а вариационный принцип обеспечивает взаимное согласование всех этапов численного моделирования

Описание динамики природных объектов опирается на представления об их системной организации. Системный подход к решению проблем природопользования предполагает комплексное изучение протекающих в среде процессов [57]. Решение данной задачи невозможно без привлечения методов прогнозирования. Математическое моделирование является наиболее перспективным направлением в решении задач экологии по своим возможностям прогнозирования, а также по экономичности материальных затрат и безопасности для человека проводимых прогностических экспериментов. По своей природе задачи экологии и оценки состояния окружающей среды не допускают проведения полномасштабных натуральных экспериментов, и математическое моделирование является, по существу, единственным методом для оценки ситуационных рисков, изучения динамики природных и техногенных катастроф и прогнозирования их последствий, получения общей картины экологической ситуации.

Теоретико-методологической основой информационных технологий оценки и прогноза состояния окружающей среды с учетом влияния на уровень загрязнения опасных природных и техногенных процессов являются работы зарубежных и отечественных авторов Jacobson M.Z., Seinfeld J.H., Pandis S.N., Kaplan H., Zambakas J. D., Берлянда М.Е., Марчука Г.И., Моница А.С., Яглома А.М., Обухова А.М., Пененко В.В., Алояна А.Е., Данаева Н.Т., Султангазина У., Бакирбаева Б., Закарина Э.А., Айдосова А., Темирбекова Н.М., Турганбаева Е.М., Абдолдиной Ф.Н., Малгаждарова Е.А., Мадиярова М.Н., Рахметуллинной С.Ж.

Для разработки информационной системы мониторинга процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе города нам необходимо было определить модель численного моделирования процесса переноса вредных веществ в атмосфере.

В результате анализа научных работ по проблеме моделирования исследований атмосферных процессов нами были определены виды математической модели информационных систем экологического мониторинга воздушного бассейна с целью классификации моделей *на группы* в соответствии с используемыми методами расчета концентрации загрязняющих

веществ, входящих в состав математического обеспечения экологических информационных систем.

По данным из [124] для моделирования качества атмосферного воздуха применяются модели распространения примесей в атмосфере, которые подразделяются на две группы: 1) модели рассеивания примесей в атмосфере; 2) модели загрязнения атмосферного воздуха.

Модели рассеивания атмосферных примесей могут быть использованы в самых различных целях:

- определение соотношений источник-рецептор;
- определение вклада различных источников в суммарные концентрации;
- оценка пространственного распределения концентрации и экспозиции населения;
- оптимизация стратегий снижения объема выбросов и анализ сценариев, связанных с выбросами;
- прогнозирование изменения концентраций загрязнителей во времени;
- анализ репрезентативности станций мониторинга; и использование моделей как инструментов научных исследований. Для применения моделей следует располагать метеорологической и географической информацией, а также данными об источниках загрязнения и выбросах.

Для описания процессов турбулентной диффузии в атмосферном воздухе используют модели рассеивания следующей классификации:

1) Эйлеровы модели, которые позволяют численно решать уравнения атмосферной диффузии.

2) Гауссовы модели, согласно которым, характер распределения концентраций рассматривается как гауссовское в горизонтальном и вертикальном направлениях.

3) Лагранжевы модели предназначены для отслеживания процессов в движущихся массах воздуха либо имитируют процессы рассеивания с помощью условных частиц.

Помимо названных моделей существуют полуэмпирические модели описания загрязнения атмосферы, в основе которых лежит эмпирическая параметризация. Сюда относим стохастические и рецепторные модели.

Основу моделей рассеивания составляют модели Гаусса, Лагранжа, Эйлера. Отметим, что модели, которые базируются на рассмотренных выше уравнениях, имеют различия по масштабам атмосферных процессов:

- макро масштаб (масштаб протяженности > 1000 км): атмосферный поток ассоциируется с синоптическими явлениями;

- мезо масштаб (1 км $<$ масштаб протяженности < 1000 км): воздушный поток отчасти находится в зависимости от синоптических явлений и отчасти от гидродинамических эффектов (например, от шероховатости подстилающей поверхности и препятствий) и от неоднородностей энергетического баланса;

- микро масштаб (масштаб протяженности < 1 км): воздушный поток в основном зависит от характеристик поверхности.

С другой стороны, по данным из [125], классификацию моделей рассеивания можно представить и иным образом, разделив их на локальные (при масштабе времени менее нескольких минут), от локальных до региональных (несколько часов), от региональных до континентальных (несколько дней) и от континентальных до глобальных (недели или более).

Рассматриваемые модели являются базисным математическим аппаратом, который применяется для построения математической стороны модели. Но в ходе анализа источника [126] было выяснено, что реальные спроектированные модели распространения различных загрязнителей в атмосфере представляют собой супермодели, у которых за основу взят какой-либо из рассмотренных алгоритмов с различными дополнениями в виде математических уравнений, описывающих турбулентность, осаждение и т.д.

Рассмотрим некоторые способы математического моделирования информационных систем экологического мониторинга воздушного бассейна.

Эмпирико-статистический способ базируется на обработке данных наблюдений за загрязнением окружающей среды (рассмотрены в работах Берлянда М.Е. [37], Сонькина П.Р. [58, 59]). В качестве характеристик экологического состояния объекта могут выступать средние или максимальные концентрации; индексы загрязнения (отношение среднего значения концентрации ингредиента к установленной для него предельно допустимой концентрации); обобщенный показатель (повторяемость существенно повышенных концентраций по отношению к общему числу проведенных измерений) [60].

Способ прогноза повышенного уровня загрязнения, основанный на разложении по естественным ортогональным функциям, изменяющимся во времени полей концентраций, дает основную информацию о состоянии поля концентраций примеси в нескольких первых членах разложения [61]. Коэффициенты, полученные при разложении, детализируют структуру поведения изучаемых концентраций ингредиентов. Эти статистические характеристики дают информацию о значении концентраций примесей на всей рассматриваемой территории, позволяют выявить основные источники выбросов, дать прогноз по концентрациям для неблагоприятных метеорологических условий. Усредненные по времени и пространству концентрации позволяют выявить тенденции изменения уровня концентраций, связанные с сезонным ходом метеорологических параметров. Основным недостатком данного способа прогноза является необходимость наличия многолетних регулярных репрезентативных наблюдений, наличия достаточно густой сети пунктов слежения.

В работе [62] используется *способ со схемой распознавания образов*, что позволяет определить степень соответствия конкретной синоптической ситуации к характерным группам концентраций загрязняющих веществ, зависимость концентрации ингредиентов от метеорологических параметров. Приблизительно связать максимальные концентрации примесей с вектором скорости ветра позволяют графические методы [65], когда на круговой

диаграмме строят изоленды повторяемости скорости ветра в полярных координатах. Одновременно строится в тех же координатах диаграмма концентраций примесей, наблюдаемых в атмосфере данной местности. Сопоставление этих двух диаграмм позволяет быстро получить информацию о том, при каких направлениях и скоростях ветра отмечаются максимальные концентрации. В некоторых работах [63, 64] на основе измерений концентраций загрязняющих ингредиентов строятся их эмпирические функции распределения, которые в дальнейшем используются для оценки вероятности превышения предельно допустимых концентраций (ПДК).

Рассмотренные способы не могут обеспечить адекватный прогноз загрязнения среды в зависимости от изменения параметров источников загрязнения, введения в строй новых промышленных объектов, реорганизации предприятий и т.д. Данные способы базируются на экспериментальных данных и определяют уровень загрязнения, сформированный под действием как природных, так и антропогенных источников, что осложняет интерпретацию результатов измерений концентраций загрязняющих веществ, разработку методов и средств контроля качества атмосферного воздуха [65].

Рассмотрим *стандартные способы*, которые утверждены МООС Республики Казахстан и рекомендованы в качестве нормативного документа для всех промышленных предприятий [66-69]. В основе стандартных способов, которые действуют в Казахстане, лежат эмпирические и полуэмпирические формулы, согласно которым можно выявить уровень опасности загрязнения приземного слоя атмосферы выбросами вредных веществ. Расчет количества выбросов основан на наибольшей рассчитанной величине приземной концентрации, устанавливающейся на определенном расстоянии от места, где наблюдаются выбросы при максимальных неблагоприятных метеорологических условиях. Оценка по оси факела величины приземных концентраций ингредиентов при неблагоприятных метеорологических условиях учитывает эмпирический поправочный коэффициент, который находится в зависимости от величины отношения расстояния, где определяется концентрация, к расстоянию, где выявлена максимальная степень концентрации.

Аналогично определяются значения концентраций вредных веществ и при других значениях скоростей ветра. Величины приземных концентраций по перпендикуляру от оси факела определяются при заданной скорости ветра с учетом концентраций, рассчитанных на оси, и эмпирического поправочного коэффициента. Поправочный коэффициент зависит от величины отношения расстояния от рассматриваемой точки по перпендикуляру до оси факела к расстоянию до источника по оси факела [70]. Предлагаемые эмпирические формулы отличаются между собой учетом конфигурации устья трубы, температурного режима выходящей смеси (холодные и горячие выбросы), расчетом расстояния, на котором достигается максимальная концентрация, и прочее.

Учет влияния рельефа местности, температурной стратификации, скорости осаждения частиц примеси приводит к попыткам ввести безразмерные коэффициенты, которые искусственно увеличивают или уменьшают рассчитанные концентрации.

Одним из недостатков указанного способа является отнесение одного и того же коэффициента температурной стратификации к чересчур большой территории. Более того, считаем применение симметричного расчета по секторам круга неэффективным, если в него включены группы действующих источников различной мощности. Итак, недостатком стандартных способов является неучет климатических особенностей местности, вследствие чего они при различных сценариях загрязнения не дают объективную картину. Отсутствие в указанных методиках различное направление ветра в соотношении к расположению предприятий повышает вероятность увеличения загрязнения в расчетной точке [70].

Рассмотрим некоторые модели, в основе которых лежат аналитические и численные уравнения переноса и турбулентной диффузии примесей.

Гауссова модель факела базируется на предположении о гауссовом распределении примесей. Данное предположение строится на том, что поток примеси, который проходит за единицу времени через вертикальное сечение факела, нормальное к среднему направлению ветра, есть величина постоянная, равная интенсивности источника, в соответствующих единицах. Удаление от источника выброса постепенно размывает факел, что на оси факела показывается как уменьшение концентрации примеси. Данное утверждение становится основополагающим свойством распределения Гаусса: площадь под факелом постоянна и не зависит от расстояния от источника, следствием увеличения ширины факела становится уменьшение среднего значения по оси факела. Если ось абсцисс направлена вдоль среднего ветра, то считаем, что случайные возмущения, которые обусловлены атмосферной турбулентностью, рассеивают примесь по бинормальному закону относительно центральной оси факела, т.е. по нормальному закону как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях. Использование математического описания подобных кривых дает возможность моделирования дисперсии возмущений факела [71]. В различных работах находим разный подход к использованию модели Гаусса. Так, одни исследователи [72] считают средний уровень концентрации в городах по простой дисперсионной модели Гаусса. Усовершенствованную гауссовую модель находим в работах [73], где оценивают осредненную концентрацию за длительный промежуток времени. Д. Сепеши [74] использует гауссовское распределение факела, где для определения средних концентраций производится сведение источников в одну точку, при этом концентрация рассматривается как сумма концентраций от отдельных труб. При этом Д. Сепеши считает равномерным распределение направления ветра внутри каждого румба определенного интервала времени, что дает ему возможность выделить румбы с максимальной повторяемостью больших концентраций. Таким образом, модификация гауссовой модели факела позволяет приближенно

учитывать такие факторы, как неровности рельефа местности, химические реакции первого порядка.

Динамико-стохастический способ включает регулярную и случайную составляющие при исследовании процесса изменения метеорологических, гидрологических и других явлений. Регулярной составляющей становятся усредненные величины по времени или реализациям, случайной составляющей признается пульсация от средних. Сложным считается описание поведения случайных составляющих, в связи с этим большое количество исследователей используют вероятностные методы для выведения закономерностей поведения случайных составляющих. В некоторых работах (Мостовой, 1993) описание пульсаций скорости света проводится при помощи модифицированной цепи Маркова, которая дает возможность учесть их пространственную коррелированность или полиномиально аппроксимировать реальный энергетический спектр пульсационных скоростей среды [75]. Поле неоднородной турбулентности рассчитывается распределение концентраций при помощи заранее вычисленной матрицы ковариаций эйлеровых скоростей [82]. В монографии А.И. Бородулина и др. [76] представлен метод нахождения одно- и двухточечных функций плотности вероятностей концентрации загрязняющих веществ и интегралов от них по времени распространения. В статьях [77-79] предложен метод расчета плотности загрязнения различных участков подстилающей поверхности, в который включена зависимость от параметров случайного поля ветра и турбулентной среды. Некоторые исследования [80, 81] анализируют использование метода Монте-Карло для моделирования диффузии от точечного источника в слое со случайной стратификацией.

При решении практических задач исследования атмосферы в фокусе исследователей находятся зоны опасных концентраций ингредиентов, которые изучаются не только с точки зрения превышения установленных для них норм, но и длительности их воздействия на окружающую среду. Считаем, что фактор продолжительности воздействия загрязняющих ингредиентов представляет действительную угрозу экологии. Ряд авторов [70] рекомендуют использовать математические модели, которые способны определить зоны экологического риска при учете особенностей климата конкретного региона. В основе данных моделей лежит понятие периода времени: в разный период времени атмосферный воздух данного региона реализует определенный тип движения воздушных масс, которые можно считать стационарными за период характерного времени. По окончании каждого периода проводится новое наблюдение, поскольку принято считать, что происходит мгновенная перестройка движения воздушных масс, вследствие чего следует новое стационарное состояние, длительность которого определяют интервалом времени между двумя соседними наблюдениями. Так как перестройка циркуляций происходит за период намного короче времени существования определенного типа движений, то делаем предположение о мгновенной перестройке. Таким образом, с течением времени наблюдаем переход системы

из одного состояния в другое. В то же время многолетние наблюдения гидрометеорологических величин можно рассматривать как ансамбль климатических характеристик данной местности. Поскольку данные реализации соотносимы с разными годами, считаем их статистически независимыми. Данный подход дает возможность сделать усреднение не по времени, а по реализациям. Следовательно, возможными реализациями случайной функции можно считать срочные наблюдения на метеостанциях, а многолетние наблюдения выступают в качестве множества всех реализаций случайной функции. Усреднение всех реализаций есть климатическая норма. Другими словами, изменения, которые были получены новыми состояниями системы на непересекающихся интервалах времени длиной τ (где τ – Лагранже масштаб времени), практически не коррелированы [70]. В связи с этим мы рассматриваем случайную последовательность состояний с независимыми приращениями как Марковский процесс без последствий, при котором система как бы не обладает памятью о своих прошлых состояниях.

Рассмотренные нами модели основаны на аналитических и численных решениях уравнений переноса и турбулентной диффузии примесей. В научной литературе находим достаточно большое количество различных вариаций моделей, в основе которых лежат уравнения переноса и турбулентной диффузии примесей.

Так называемые К-модели атмосферной диффузии основываются на уравнении градиентного переноса. К-модели позволяют проводить моделирование распространения концентраций в пространстве и во времени. При моделировании задаются начальные и граничные условия для концентрации, а также поля скорости ветра и коэффициенты турбулентной диффузии.

При реализации этого способа возникают трудности, связанные с определением метеорологических полей, их приходится определять с помощью наблюдений, что является достаточно трудоемкой задачей.

Важнейшими элементами математических моделей, базирующихся на описании процессов турбулентного обмена с помощью К-теории, являются параметризации коэффициентов турбулентной диффузии [83]. Эти параметризации, с одной стороны, должны удовлетворительно описывать характерные зависимости коэффициентов диффузии от определяющих параметров всех процессов, формирующих турбулентную структуру течения, и, с другой, – иметь вид, удобный для практического использования.

Аналитические решения полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии получены в основном при условиях или постоянства, или степенной зависимости скорости и коэффициентов диффузии от высоты приземного слоя атмосферы. Например, для линейных источников автором [82] получено аналитическое решение для стационарного уравнения переноса, атмосферные параметры описаны через степенные зависимости.

Получено аналитическое решение нестационарного одномерного уравнения диффузии для мгновенного площадного источника с заданной мощностью, выраженное с помощью полинома Лежандра.

Некоторыми авторами рассматривается нестационарная задача прогноза распространения загрязняющего вещества, где входными параметрами являются параметр турбулентности и скорости ветра [32, 37]. Параметры турбулентности определяются через шероховатость подстилающей поверхности, коэффициент молекулярной диффузии, высоту приземного слоя. Для определения вертикальной компоненты скорости ветра используются степенные или логарифмические зависимости, во многих работах приведены результаты сравнения профилей ветра, полученных по этим зависимостям [84, 85]. Исследования показывают, что профиль, полученный с помощью степенной функции, значительно точнее описывает реальный процесс. Коэффициент обмена с учетом устойчивости описывается с помощью зависимости через число Ричардсона. Вертикальные профили компонента скорости находятся через угол поворота ветра, динамическую скорость, постоянную Кармана, безразмерную высоту [86]. Для определения коэффициентов турбулентной диффузии используются уравнения, описанные в работах [83].

Широкое применение получили модели, базирующиеся на системе дифференциальных уравнений газовой динамики. При решении этих уравнений используются численные методы, позволяющие более детально моделировать процесс распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Существует много вариаций подобных моделей, учитывающих различную степень детализации описания процесса. Исследованиям в этом направлении посвящены работы таких ученых, как М.Е. Берлянд, Г.И. Марчук, А.С. Мониин, А.М. Яглом, Л.В. Келлер, А. Роберс, А.М. Обухов, В.В. Пененко, А.Е. Алоян, Н.Т. Данаев, Б. Бакирбаев, А. Айдосов, Н.М. Темирбеков, Ф.Н. Абдолдина, Е.А. Малгаждаров, М.Н. Мадияров, С.Ж.Рахметуллина и других [4-7, 11-14, 32,35,38, 49-51, 88-94].

У.М. Султангазиным [95-100] проведены фундаментальные исследования, посвященные численным методам решения задач математической физики, в частности решению задач переноса радиационного излучения. Исследованиям в области компьютерной графики, цифровой картографии и экспертных систем посвящены работы Э.А. Закарина [53-56].

В работе автора [101] рассмотрена математическая модель расчета распространения примеси от источников загрязнения с учетом рельефа местности и свойств подстилающей поверхности в приземном слое атмосферы. Решение задачи разделено на две подзадачи: моделирование течений около криволинейных поверхностей и моделирование распространения примеси. Моделирование течения у криволинейных поверхностей осуществляется на основании системы осредненных уравнений Навье-Стокса с замыкающими соотношениями для турбулентной вязкости. Для расчета распространения

примеси используется уравнение диффузии с граничными условиями, моделирующими взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью.

В работах Г.И. Марчука, В.В. Пененко, А.Е. Алояна, Н.Т. Данаева, Б. Бакирбаева, А. Айдосова, Н.М. Темирбекова, Ф.Н. Абдолдиной, Е.А. Малгаждарова, М.Н. Мадиярова и других авторов рассмотрены модели, основу которых составляют уравнения гидротермодинамики атмосферы, уравнения переноса и трансформации примесей, уравнения и соотношения, определяющие прямые и обратные связи в системе и режим взаимодействия воздушных масс и примесей с неоднородной поверхностью земли. Эти уравнения в дифференциальном виде представляют законы сохранения энергии массы, количества движения и субстанции, которые совместно с законами химии, термодинамики описывают процессы, протекающие в атмосфере, почве, на подстилающей поверхности. Использование таких уравнений позволяет делать модель гибкой, расширить область ее применения, учитывая источники различных типов, произвольные параметры окружающей среды. На базе уравнений гидротермодинамики атмосферы и уравнения переноса с учетом трансформации примесей можно разработать модели с различной степенью детализации влияния параметров окружающей среды.

Применение методик, основанных на стандартных инженерных расчетах, и методик, базирующихся на математическом моделировании процесса распространения загрязняющих веществ, позволяет получить оценку и прогноз состояния атмосферы при различных сценариях развития метеоусловий и тем самым повысить эффективность экологического мониторинга.

Во всех выше описанных моделях обычно предполагается, что взаимным влиянием частиц можно пренебречь, и их стохастическое движение определяется только турбулентностью потока [102]. При этом из-за сложной турбулентной структуры потока при определении диффузионного поведения и коэффициента турбулентной диффузии частиц в зависимости от параметров потока и характеристик частиц принимаются значительные упрощающие допущения. Кроме того, часто принимается допущение об изотропной турбулентности, которое с удовлетворительной точностью при обычных условиях подтверждается данными экспериментальных исследований.

Основным недостатком всех диффузионных моделей является допущение об однородности поля турбулентных пульсаций по всем направлениям, кроме того, как уже отмечалось, характер движения дисперсной фазы в турбулентном потоке носит вероятностно-стохастический характер, и попытки его описания детерминированными зависимостями существенно снижают возможности анализа и принятия управленческих решений. Использование детерминированных методов в большинстве случаев позволяет определять только ориентировочные или усредненные значения параметров и характеристик процесса, что часто приводит к ошибкам, снижению точности расчетов или необходимости введения эмпирических коэффициентов. А использование диффузионных моделей приводит, кроме того, к необходимости

введения весьма неопределенных коэффициентов продольного перемешивания или эффективной диффузии, не имеющих четкого физического смысла [103].

Кроме этих моделей нередко используют вероятностно-статистический подход описания турбулентных пульсаций в сплошной среде. Такой подход находим в работе Сугак Е.В., который рассматривает движение потока газа с частицами в осесимметричном вертикальном канале.

Вероятностно-статистические методы основаны на учете действия множества случайных факторов, которые характеризуются устойчивой частотой. Это позволяет вскрыть необходимость (закон), которая «пробивается» через совокупное действие множества случайностей.

Вероятностно-статистические методы основаны на различии динамических и статистических законов по такому критерию (основанию), как характер вытекающих из них предсказаний. *В законах динамического типа предсказания имеют точно определенный однозначный характер* (например, в классической механике). Динамические законы характеризуют поведение относительно изолированных объектов, состоящих из небольшого числа элементов, в которых можно абстрагироваться от целого ряда случайных факторов.

Вероятностно-статистические методы широко применяются при изучении массовых, а не отдельных явлений случайного характера. Таким образом, проведенный анализ способов математического моделирования для исследований атмосферных процессов, каждый из которых имеет свои особенности в применении, свои достоинства и недостатки, определил виды математических моделей информационных систем экологического мониторинга воздушного бассейна. За основу в исследовательской работе был взят вероятностно-статистический метод, который был в последующем использован при разработке алгоритма численного моделирования процесса переноса вредных веществ в атмосфере.

2.2. Основные закономерности турбулентного течения газа

Для турбулентного течения газа характерны беспорядочные, хаотические пульсации скорости во всех направлениях во всех точках потока, придающие практически всем происходящим процессам стохастический характер: при турбулентном течении отдельные объемы газа с определенной вероятностью могут перемещаться в любом направлении и истинное значение любой характеристики газа в конкретной точке в конкретный момент времени представляет собой сумму величин, характеризующих основное и пульсационное течения. Следствием хаотических пульсационных движений является беспорядочное интенсивное перемешивание и специфическая турбулентная диффузия, значительно превосходящая молекулярную, турбулентная вязкость газа, более равномерное, чем при ламинарном течении, распределение осредненной скорости и резкое ее падение в пристенной области, резкое увеличение потерь на трение и т.д.

Мгновенную скорость газа в любой точке потока в каждом направлении можно представить как сумму осредненной скорости и скорости пульсаций:

$$\omega_x = \bar{\omega}_x + \omega_{\dot{x}} \quad \omega_y = \bar{\omega}_y + \omega_{\dot{y}} \quad \omega_z = \bar{\omega}_z + \omega_{\dot{z}} \quad (11)$$

Подстановка этих выражений в уравнения движения Навье-Стокса и усреднение по времени и пространству приводит к уравнениям движения Рейнольдса, в которые входят добавочные касательные напряжения, обуславливающие повышение вязкости и гидравлического сопротивления. Для замыкания системы уравнений применяются статистические или полуэмпирические теории турбулентности, используется аналогия между турбулентными и молекулярными напряжениями, экспериментальные данные о статистических связях между пульсациями в пространстве и времени. Однако использование статистической теории требует предварительных сведений о турбулентных характеристиках потока, поэтому наибольшее распространение получили статистико-феноменологические теории турбулентного переноса, в которых турбулентность характеризуется интенсивностью и масштабом или кинетической энергией пульсационного движения и скоростью ее диссипации. Для описания процессов турбулентного переноса наряду с уравнениями осредненного турбулентного потока применяются уравнения баланса пульсационной энергии, для замыкания системы уравнений принимаются дополнительные гипотезы. Однако полученные таким образом модели громоздки и содержат эмпирические константы, универсальность которых строго не доказана. Поэтому для инженерных расчетов обычно используются феноменологические теории и полуэмпирические методы расчета [104].

2.2.1 Основные характеристики турбулентности

Непосредственной причиной турбулентных пульсаций газа в потоке являются его периодические локальные выбросы из неустойчивой пристенной области со значительным градиентом скорости. Выбросы порождают вихри, уходящие в ядро потока и, в свою очередь, стимулирующие появление новых выбросов. Масштаб первичных вихрей сравним с масштабом потока, скорость – со скоростью течения, но частота сравнительно невелика. В развитом турбулентном потоке движение крупных вихрей оказывается неустойчивым и порождает более мелкие локальные вихри, затем еще более мелкие вплоть до мельчайших, внутри которых течение носит ламинарный характер. На движении мелкомасштабных вихрей (внутреннего масштаба турбулентности) не сказывается общее направление потока (все направления равновероятны, пульсации практически изотропны), частота пульсаций постоянна и максимальна для данных условий.

Порядок величины скорости турбулентных пульсаций характеризует динамическая скорость (скорость трения) – усредненное значение продольной и поперечной составляющих скорости пульсаций:

$$\omega^* = \sqrt{(\omega'_z \omega'_y)} = \sqrt{\tau_0 / \rho} \quad (12)$$

Масштаб турбулентности характеризует средний или наиболее вероятный размер турбулентных вихрей. В развитом турбулентном потоке максимальный масштаб пульсаций сравним с характерным размером (диаметром) канала $l_{max} \sim D$, минимальный определяется условиями вязкостной диссипации кинетической энергии пульсации $l_{min} \sim R/Re^{0,75}$. Экспериментальные исследования спектра продольных и поперечных скоростей турбулентных пульсаций показывают, что наиболее вероятны турбулентные пульсации, скорость которых пропорциональна скорости газа.

В полуэмпирической теории турбулентности используется понятие пути перемешивания (смешения) – расстояние, на котором турбулентный вихрь теряет целостность. При анализе турбулентной вязкости длина пути перемешивания l_m вблизи стенки обычно принимается пропорциональной расстоянию до стенки ($l_m = k^* y$), коэффициент пропорциональности k^* (коэффициент турбулентной структуры или турбулентности) часто принимается $k^* \approx 0,4$ или определяется опытным путем.

Частота турбулентных пульсаций характеризует число изменений амплитудных значений пульсационной скорости в единицу времени. Статистические характеристики среднечастотной турбулентности не зависят от плотности и вязкости среды и определяются величиной скорости диссипации энергии. Нижний предел частоты крупномасштабных турбулентных пульсаций масштаба D

$$\omega_0 \approx \omega_{cp} / D. \quad (13)$$

В общем случае скорость пульсационного движения среды представляется интегралом Фурье [108, 121]

$$\omega'(t) = \int_0^\infty (A \cos \omega t + B \sin \omega t) d\omega, \quad (14)$$

где ω - угловая частота турбулентных пульсаций, c^{-1} ; А и В коэффициенты:

$$A = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega' \cos \omega t dt, \quad B = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega' \sin \omega t dt. \quad (15)$$

Однако при математическом описании турбулентных пульсаций изменение скорости пульсационного движения среды в каждом из направлений обычно представляется моногармонической функцией

$$\omega'(t) = W \cdot \sin(\omega t), \quad (16)$$

где W - амплитуда скорости пульсаций, м/с [104] .

2.3 Вероятностно-статистическое моделирование переноса вредных примесей в атмосфере от автотранспортных средств

Атмосфера представляет собой сложную динамическую и турбулентную систему, в которой протекают различные динамические и физико-химические процессы. При описании переноса вредных примесей в атмосфере проблемами являются математическое моделирование изменчивости газового и аэрозольного состава атмосферы и оценка влияния атмосферных примесей на окружающую среду.

Для турбулентного течения атмосферы характерны беспорядочные хаотические пульсации скорости во всех направлениях во всех точках потока, придающие практически всем происходящим процессам стохастический характер. Следствием хаотических пульсационных движений является беспорядочное интенсивное перемешивание и специфическая турбулентная диффузия, значительно превосходящая молекулярную, турбулентная вязкость газа, более равномерное, чем при ламинарном течении, распределение осредненной скорости и резкое ее падение в пристенной области, резкое увеличение потерь на трение.

Мгновенную скорость атмосферы в любой точке потока в каждом направлении можно представить как сумму осредненной скорости и скорости пульсаций:

$$u = \bar{u} + u', \quad v = \bar{v} + v', \quad w = \bar{w} + w' \quad (17)$$

Постановка этих выражений в уравнения движения Навье-Стокса и усреднение по времени и по пространству приводит к уравнениям движения Рейнольдса, в которые входят добавочные касательные напряжения, обуславливающие повышение вязкости и гидравлического сопротивления. Для замыкания системы уравнений применяются статистические или полуэмпирические теории турбулентности, используются аналогия между турбулентными и молекулярными напряжениями, экспериментальные данные о статистических связях между пульсациями в пространстве и по времени.

Применение статистической теории при построении модели изменчивости состава атмосферы требует предварительных сведений о турбулентных характеристиках потока, поэтому наибольшее распространение получили статистико-феноменологические теории турбулентного переноса, которые характеризуются интенсивностью и масштабом или кинетической энергией пульсационного движения и скоростью ее диссипации. Для описания процессов турбулентного переноса наряду с уравнениями осредненного турбулентного потока применяются уравнения баланса пульсационной энергии, для замыкания системы уравнений принимаются дополнительные гипотезы.

Обычно предполагается, что взаимным влиянием частиц можно пренебречь и их стохастическое движение определяется только турбулентностью потока. При этом из-за сложной турбулентной структуры

потока при определении диффузионного поведения и коэффициента турбулентной диффузии частиц в зависимости от параметров потока и характеристик частиц принимаются значительные упрощающие допущения. Кроме того, часто принимается допущение об изотропной турбулентности, которое с удовлетворительной точностью при обычных условиях подтверждается данными экспериментальных исследований.

Основным недостатком всех диффузионных моделей является допущение об однородности поля турбулентных пульсаций по всем направлениям, кроме того, как уже отмечалось, характер движения дисперсной фазы в турбулентном потоке носит вероятно-стохастический характер, и попытки его описания детерминированными зависимостями существенно снижают возможности анализа и принятия управленческих решений. Применение детерминированных методов в большинстве случаев позволяет определять только ориентировочные или усредненные значения параметров и характеристик процесса, что часто приводит к снижению точности расчетов или необходимости введения эмпирических коэффициентов. Использование диффузионных моделей приводит, кроме того, к необходимости введения весьма неопределенных коэффициентов продольного перемешивания или эффективной диффузии, не имеющих четкого физического смысла.

Приведем численную реализацию вероятно-статистического моделирования распространения вредных примесей от автотранспортных средств в атмосфере города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области.

В атмосфере частица примеси может перемещаться вместе с потоками воздуха или под воздействием внешних сил, так и посредством турбулентной диффузии под воздействием турбулентных пульсаций атмосферы. Соответственно, траектория движения частиц примеси может рассматриваться как суммарный случайный путь: любая из ее координат в любой момент времени может быть представлена как сумма детерминированной и случайной составляющих:

$$x(t) = \int_0^t u_x(t) dt + x'(t), \quad (18)$$

где $x(t)$ - проекция детерминированной скорости, м/с; $x'(t)$ - случайный процесс.

Если рассматривать движение частицы примеси как последовательность скачкообразных перемещений длиной h через малые промежутки времени Δt в одном из шести возможных направлений в ортогональной системе координат x, y, z , то траектория движения будет представлять собой трехмерную ломанную, а направление движения в каждый момент времени будет определяться соответствующими вероятностями $P_i : P_{+x}, P_{-x}, P_{+y}, P_{-y}, P_{+z}, P_{-z}$. Очевидно, что в любой момент времени

$$p_{+x}(t) + p_{-x}(t) + p_{+y}(t) + p_{-y}(t) + p_{+z}(t) + p_{-z}(t) = 1. \quad (19)$$

В отсутствие конвективного движения и влияния внешних сил при изотропной турбулентности, когда частица примеси совершает только случайные движения, все направления движения равновероятны и вероятности одинаковы:

$$p_{+x}(t) = p_{-x}(t) = p_{+y}(t) = p_{-y}(t) = p_{+z}(t) = p_{-z}(t) = \frac{1}{6}.$$

Рассмотрим перенос одной частицы примеси из точечного источника (например, из трубы промышленного предприятия). Пусть направление ветра совпадает с осью Ox . Тогда можно перейти к двумерной системе координат xOz и в каждый момент времени рассматривать движение частиц примеси в одном из четырех возможных направлений.

Вероятности каждого из направлений будут p_{+x} , p_{-x} , p_{+z} и p_{-z} ($p_{+x}(t) + p_{-x}(t) + p_{+z}(t) + p_{-z}(t) = 1$).

Очевидно, при отсутствии ветра и изотропной турбулентности $p_{+x} = p_{-x} = p_{+z} = p_{-z} = 1/4$. В присутствии ветра с направлением, совпадающим с осью Ox , ее влияние можно выразить через соотношение соответствующих вероятностей направлений движения: при восходящем течении и изотропной турбулентности в неподвижной системе координат $p_{+x} \succ p_{-x} = p_{+z} = p_{-z}$.

С помощью вышеописанной вероятностно-статистической модели при известных значениях вероятностей p_i и генератора случайных чисел на рисунках 2.1 и 2.2 соответственно показаны результаты расчета вариантов возможных траекторий одной и десяти частиц примеси в турбулентном потоке.

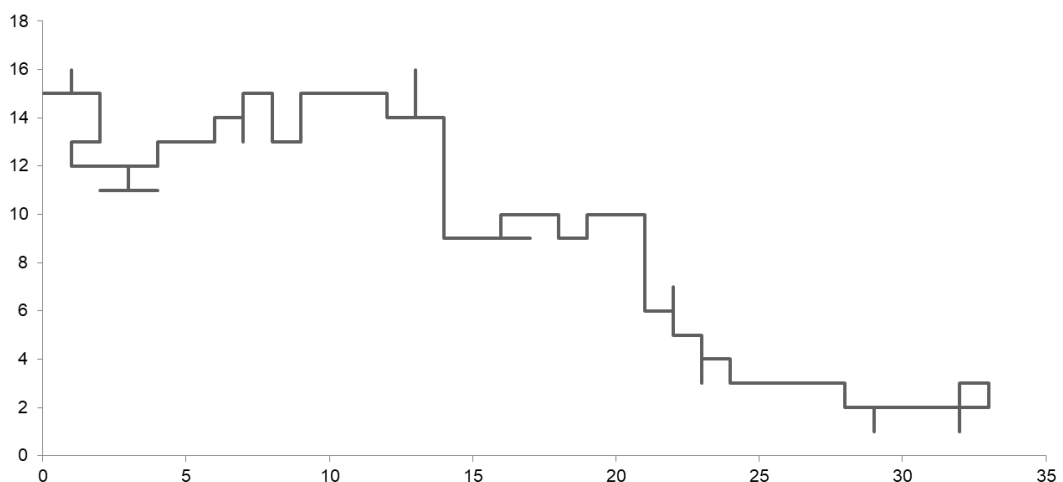


Рисунок 2.1 – Вариант расчета траектории одной частицы примеси в турбулентном потоке, $p_{+x} = 0.7$, $p_{-x} = p_{+y} = p_{-y} = 0.1$ (100 шагов)

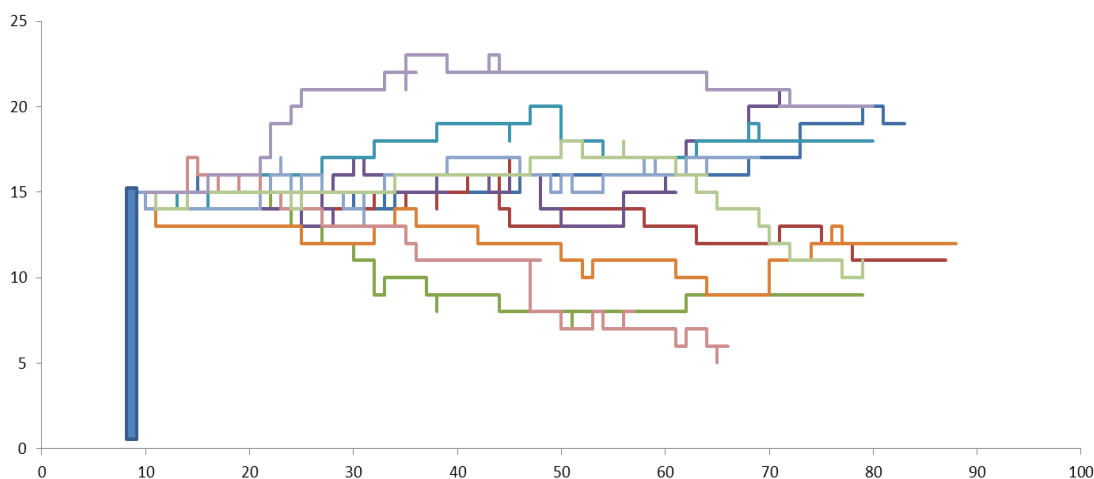


Рисунок 2.2 - Вариант расчета возможных траекторий десяти частиц примести в турбулентном потоке, $p_{+x} = 0.7$, $p_{-x} = p_{+y} = p_{-y} = 0.1$ (10 x 100 шагов)

Однако данный подход затрудняет расчет, когда существует множество источников и объемов выброса вредных веществ. В любой момент времени каждая частица может находиться в одном из таких узлов сетки и каждое из таких положений можно рассматривать как возможное состояние частицы в момент времени с соответствующей вероятностью $P(i, j, t)$ (i, j - номера узлов сетки).

Предположим, что известны вероятности всех положений частицы в момент времени t , и рассмотрим изменения вероятности нахождения частицы в положении (i, j) через малый промежуток времени Δt .

В момент времени $t + \Delta t$ вероятность частицы $P(i, j, t + \Delta t)$ можно определить двумя случаями: первое, это когда в положение (i, j) втекают из соседних узлов $((i-1, j), (i+1, j), (i, j-1)$ и $(i, j+1))$; второе, когда вытекают в соседние узлы $((i-1, j), (i+1, j), (i, j-1)$ и $(i, j+1))$ (рисунок 2.3). Предположительно в каждый момент времени $t + \Delta t$, в положении (i, j) определяется вероятное направление перехода частицы $p_{l,i,j}^{n+1}$ ($l = +x, -x, +z, -z$), и соответственно то, что втекает, добавляется, а то, что вытекает, отнимается.

Таким образом, уравнение определения вероятности нахождения частицы в положении (i, j) в момент времени $t + \Delta t$ выглядит следующим образом:

$$P_{i,j}^{n+1} = P_{i,j}^n + p_{+x,i,j}^{n+1} P_{i-1,j}^n + p_{-x,i,j}^{n+1} P_{i+1,j}^n + p_{+z,i,j}^{n+1} P_{i,j-1}^n + p_{-z,i,j}^{n+1} P_{i,j+1}^n - (p_{+x,i,j}^{n+1} + p_{-x,i,j}^{n+1} + p_{+z,i,j}^{n+1} + p_{-z,i,j}^{n+1}) P_{i,j}^n \quad (20)$$

где $P_{i,j}^{n+1}$ - это вероятность нахождения частицы в момент времени $t + \Delta t$ в положении (i, j) , $p_{+x,i,j}^{n+1}$ - это вероятность переходов в положение (i, j) и из положения (i, j) в момент времени $t + \Delta t$ [127].

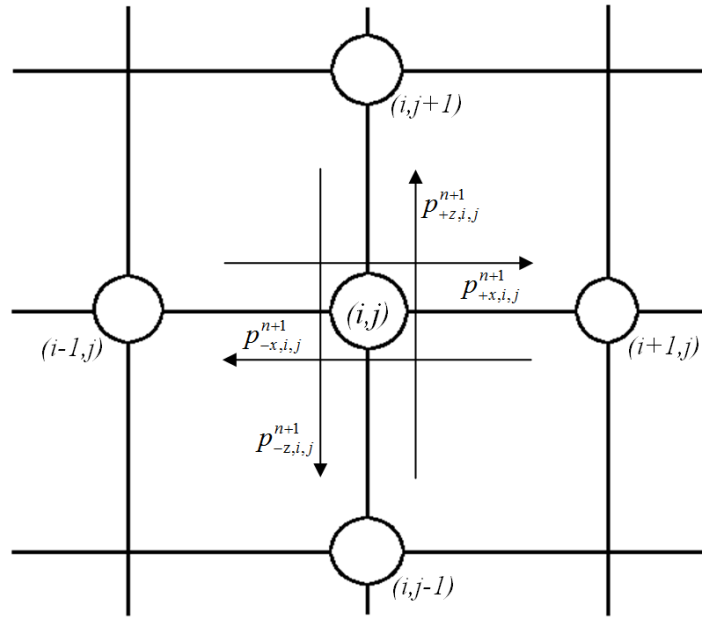


Рисунок 2.3 - Схемы переходов частицы

Для рекуррентного пуассоновского потока событий при $\mu_l(i, j)\Delta t \ll 1$

$$p_{l,i,j}^{n+1} = 1 - \exp[-\mu_l(i, j)\Delta t] \approx 1 - [1 - \mu_l(i, j)\Delta t] = \mu_l(i, j)\Delta t$$

где μ_l ($l = +x, -x, +z, -z$) – это интенсивность соответствующих переходов, которые в турбулентном потоке определяются интенсивностью турбулентных пульсаций, c^{-1} .

Аналогичные приближения можно записать и для всех переходов обозначая их $\mu_{l,i,j}$. Тогда уравнение (20) примет вид

$$P_{i,j}^{n+1} = P_{i,j}^n + \mu_{+x,i,j}\Delta t P_{i-1,j}^n + \mu_{-x,i,j}\Delta t P_{i+1,j}^n + \mu_{+z,i,j}\Delta t P_{i,j-1}^n + \mu_{-z,i,j}\Delta t P_{i,j+1}^n - (\mu_{+x,i,j} + \mu_{-x,i,j} + \mu_{+z,i,j} + \mu_{-z,i,j})P_{i,j}^n \Delta t \quad (21)$$

Из выражения (21) можно получить

$$\frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n}{\Delta t} = \mu_{+x,i,j}P_{i-1,j}^n + \mu_{-x,i,j}P_{i+1,j}^n + \mu_{+z,i,j}P_{i,j-1}^n + \mu_{-z,i,j}P_{i,j+1}^n - (\mu_{+x,i,j} + \mu_{-x,i,j} + \mu_{+z,i,j} + \mu_{-z,i,j})P_{i,j}^n$$

Переходя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получим дифференциальное уравнение относительно вероятности нахождения частицы в момент времени t в точке (i, j) :

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \mu_{+x,i,j} P_{i-1,j}^n + \mu_{-x,i,j} P_{i+1,j}^n + \mu_{+z,i,j} P_{i,j-1}^n + \mu_{-z,i,j} P_{i,j+1}^n - (\mu_{+x,i,j} + \mu_{-x,i,j} + \mu_{+z,i,j} + \mu_{-z,i,j}) P_{i,j}^n \quad (22)$$

Вероятность нахождения одиночной частицы в любом положении $P_{i,j}^n$ в соответствии с законом больших чисел одновременно означает долю частиц $N(i, j, t)/N$ от их общего числа в системе, находящейся в элементарном объеме $V(i, j)$ сечением $h_x \times h_z$ в момент времени t , т.е.

$$P_{i,j}^n = \frac{N(i, j, t)}{N} = \varphi_{i,j}^n \frac{V(i, j)}{N} \quad (23)$$

где $\varphi_{i,j}^n$ - локальная численная концентрация примесей, m^{-3} .

Подставляя выражения (7) в уравнения (6), можно получить следующее выражение

$$\frac{V(i, j)}{N} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \mu_{+x,i,j} \frac{V(i, j)}{N} (\varphi_{i-1,j}^n - \varphi_{i,j}^n) + \mu_{-x,i,j} \frac{V(i, j)}{N} (\varphi_{i+1,j}^n - \varphi_{i,j}^n) + \mu_{+z,i,j} \frac{V(i, j)}{N} (\varphi_{i,j-1}^n - \varphi_{i,j}^n) + \mu_{-z,i,j} \frac{V(i, j)}{N} (\varphi_{i,j+1}^n - \varphi_{i,j}^n) \quad (24)$$

Учитывая, что общее число делений и элементарный объем постоянны и, добавляя функцию, описывающую источники выбросов вредных веществ в уравнении (8), получим

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \mu_{+x,i,j} (\varphi_{i-1,j}^n - \varphi_{i,j}^n) + \mu_{-x,i,j} (\varphi_{i+1,j}^n - \varphi_{i,j}^n) + \mu_{+z,i,j} (\varphi_{i,j-1}^n - \varphi_{i,j}^n) + \mu_{-z,i,j} (\varphi_{i,j+1}^n - \varphi_{i,j}^n) + f \quad (25)$$

где f - функция, описывающая источник выброса вредных веществ.

Система дифференциальных уравнений (25) при заданных начальных и граничных условиях дает возможность определить концентрацию вредных примесей и ее изменение. Будем рассматривать два вида граничных условий: свободная граница и твердая стенка. В свободной границе исключим те слагаемые, которые выходят за пределы границы. Например, на границе $x = X$:

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right|_{x=X} = \mu_{+x,n_1,j} (\varphi_{n_1-1,j}^n - \varphi_{n_1,j}^n) + \mu_{-x,n_1,j} (-\varphi_{n_1,j}^n) + \mu_{+z,n_1,j} (\varphi_{n_1,j-1}^n - \varphi_{n_1,j}^n) + \mu_{-z,n_1,j} (\varphi_{n_1,j+1}^n - \varphi_{n_1,j}^n) + f \quad (26)$$

Это означает, что примесь из расчетной области беспрепятственно вытекает, но не втекает.

Таким образом, при необходимости можно определить объем примесей выведенных из расчетной области для определения самоочищения атмосферы ветровыми режимами.

Если граница твердая стенка, например, на границе $z=0$:

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right|_{z=0} = \mu_{+x,i,1}(\varphi_{i-1,1}^n - \varphi_{i,1}^n) + \mu_{-x,i,1}(\varphi_{i+1,1}^n - \varphi_{i,1}^n) + \mu_{+z,i,j}(-\varphi_{i,1}^n) + \mu_{-z,i,1}(\varphi_{i,2}^n) + f. \quad (27)$$

В этом случае примесь не втекает и не вытекает. Аналогично можно получить граничные условия для всех границ рассматриваемой области.

Интенсивности переходов $\mu_{+x,i,j}, \mu_{-x,i,j}, \mu_{+z,i,j}$ и $\mu_{-z,i,j}$ определяются детерминированными скоростями и интенсивностями турбулентных пульсаций в соответствующих направлениях. Скорость частицы примесей в любом направлении определяется суммой детерминированной и случайной составляющих

$$u = \bar{u} + u' \quad (28)$$

Тогда общая интенсивность переходов вдоль любой из осей определяется суммой осредненной детерминированной скорости и турбулентных пульсаций.

$$\mu_{+x} = u + \mu_{+x}, \quad \mu_{-x} = |-u| + \mu_{-x}, \quad \mu_{+z} = w + \mu_{+z}, \quad \mu_{-z} = |-w| + \mu_{-z}$$

где u, w - компоненты скорости ветра. В атмосфере при отсутствии ветра, интенсивности турбулентных пульсаций во всех направлениях можно считать одинаковыми, т.е. $\mu_{+x} = \mu_{-x} = \mu_{+z} = \mu_{-z}$.

Если считать, что направление ветра совпадает с направлением оси Ox , то интенсивности переходов будут определяться следующим образом:

$$\mu_{+x} = \bar{u}_x + \mu_{+x}, \quad \mu_{-x} = \mu_{+z} = \mu_{-z}$$

При численной реализации уравнений (25) из интенсивности переходов $\mu_{+x,i,j}, \mu_{-x,i,j}, \mu_{+z,i,j}$ и $\mu_{-z,i,j}$ только один принимает значение 1, а остальные 0. Данный подход обеспечивает выполнения условий (19). Тот из них, который принимает значение 1, определяется с помощью генератора случайных чисел.

С помощью вероятностно-стохастической модели проводим методические расчеты переноса примесей от точечных и линейных источников [127].

На рисунках 2.4 и 2.5 показано влияние скоростного режима ветра на точечный источник. Например, при скорости ветра 3 м/с примесь быстрее уносится, не успевая поддаваться диффузионным процессам (рисунок 2.4). При скорости ветра 1 м/с процесс переноса протекает медленнее (рисунок 2.5).

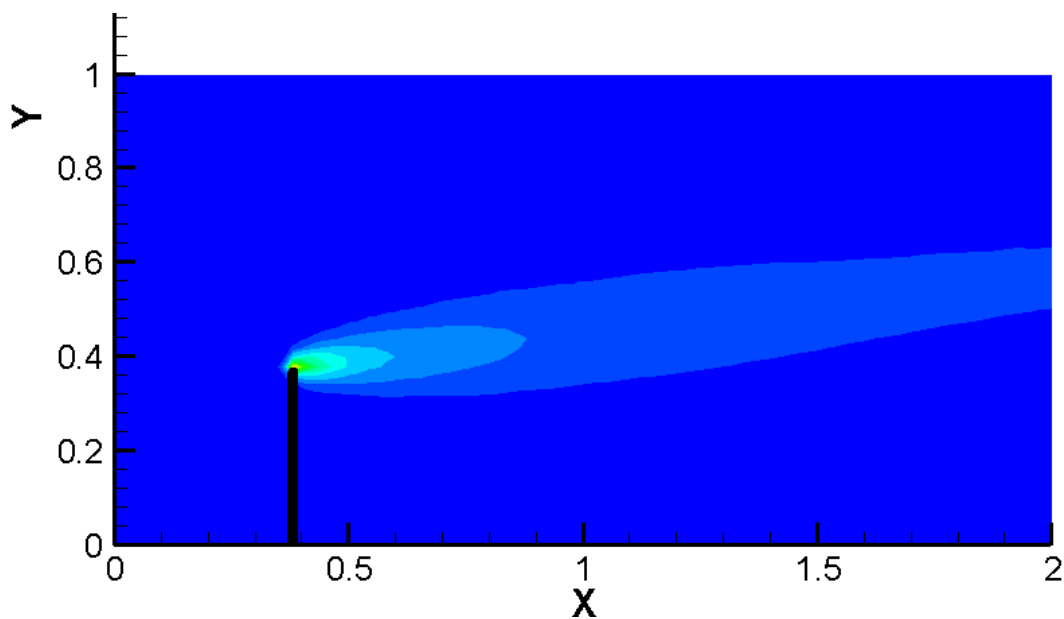


Рисунок 2.4 - Влияние скоростного режима ветра при скорости ветра 3м/с, точечный источник

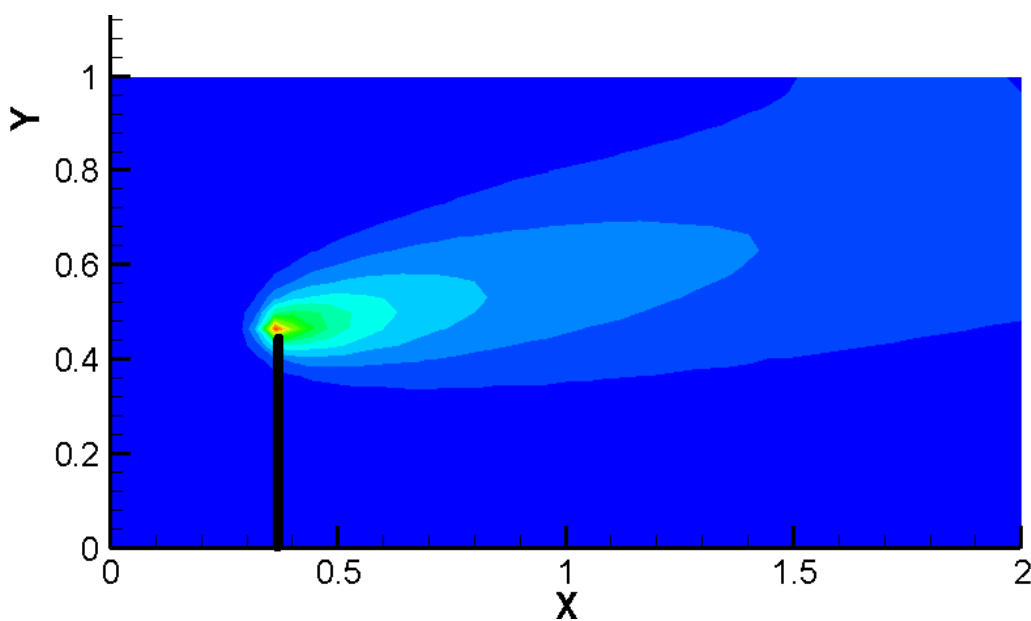


Рисунок 2.5 - Влияние скоростного режима ветра при скорости ветра 1м/с, точечный источник

На рисунках 2.6 и 2.7 представлены результаты расчетов переноса вредных примесей от линейных источников на горизонтальном сечении.

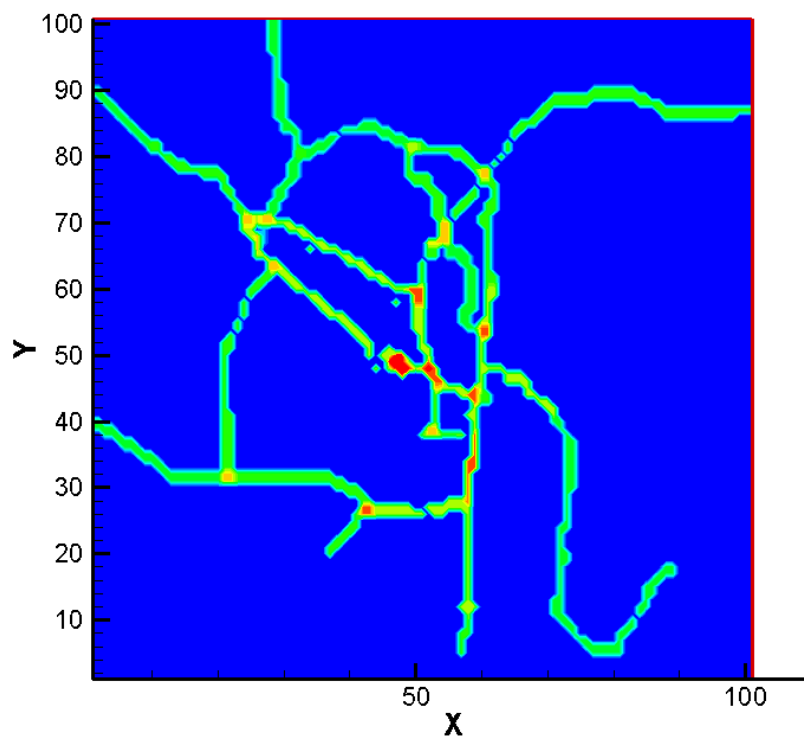


Рисунок 2.6 - Входные данные о переносе вредных примесей от линейного источника

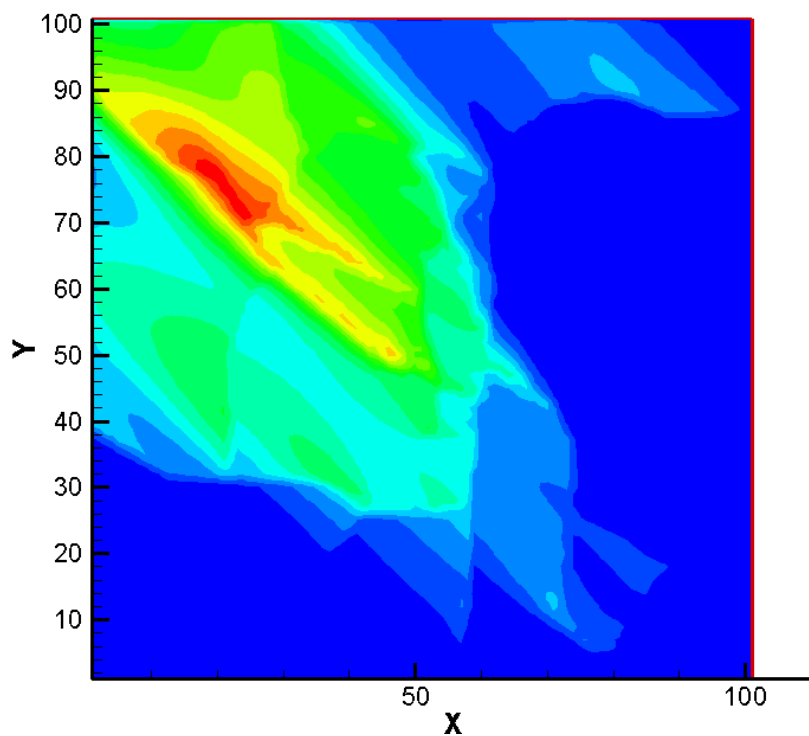


Рисунок 2.7 - Распространение вредных примесей от линейного источника при скорости ветра 5м/с в северо-западном направлении

Таким образом, использование упрощенной методики вероятностно-стохастического моделирования позволяет построить эффективные численные

алгоритмы расчета, существенно сокращающие объем вычислений без потери их точности [105, 127].

2.4 Краткие выводы

Проведенный анализ способов математического моделирования атмосферных процессов, каждый из которых имеет свои особенности в применении, свои достоинства и недостатки, определил виды математических моделей информационных систем экологического мониторинга воздушного бассейна.

Модели распространения примесей в атмосфере подразделяются на две группы: модели рассеивания примесей в атмосфере и модели загрязнения атмосферного воздуха.

Модели рассеивания предназначены для описания процессов турбулентной диффузии в атмосфере и представлены классификацией:

1) Эйлеровы модели, предназначенные для численного решения уравнений атмосферной диффузии.

2) Гауссовы модели, позволяющие характеризовать распределение концентраций как Гауссовское в горизонтальном и вертикальном направлениях.

3) Лагранжевы модели, где или происходит отслеживание процессов в движущихся массах воздуха, или использованы условные частицы для имитации процессов рассеивания.

К моделям загрязнения атмосферного воздуха также можно отнести полуэмпирические, стохастические, рецепторные модели.

Рассматриваемые модели являются базисным математическим аппаратом, который применяется для построения математической стороны модели. Но в ходе анализа исследований было выяснено, что реально спроектированные модели распространения различных загрязнителей в атмосфере представляют собой супермодели, у которых за основу взят какой-либо из рассмотренных алгоритмов с различными дополнениями в виде математических уравнений, описывающих турбулентность, осаждение.

Существуют разные способы математического моделирования информационных систем экологического мониторинга воздушного бассейна: эмпирико-статистический, способ прогноза повышенного уровня загрязнения, способ со схемой распознавания образов, стандартные способы, способ Гауссовой модели факела, динамико-стохастический.

В научных разработках применяются различные вариации моделей, основывающихся на уравнениях переноса и турбулентной диффузии примесей.

В работе за основу был выбран вероятностно-статистический метод для разработки алгоритма численного моделирования процесса переноса вредных веществ в атмосфере.

Таким образом, из-за турбулентного течения газа характерны беспорядочные, хаотические пульсации скорости во всех направлениях во всех

точках потока воздуха атмосферы, придающие практически всем происходящим процессам стохастический характер.

Использование упрощенной методики вероятностно-стохастического моделирования позволяет построить эффективные численные алгоритмы расчета, существенно сокращающие объем вычислений без потери их точности.

3 ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА АВТОТРАНСПОРТОМ

3.1 Сравнительный анализ информационных систем мониторинга загрязнённости воздушного бассейна

Под термином «мониторинг» понимают процесс регулярного или непрерывного слежения за какими-то явлениями или объектами и регистрации их состояния. Мониторинг окружающей среды (ОС) или экологический мониторинг представляет собой информационную систему, имеющую три основных, тесно связанных между собой, направления деятельности:

- 1) наблюдение за состоянием ОС;
- 2) оценка текущего состояния ОС;
- 3) прогноз состояния ОС и его оценка.

Оценка состояния ОС и тем более прогноз на будущее возможны только на основе наблюдений. Правильная оценка и точный прогноз могут потребовать изменения или расширения программы наблюдений.

Основой экологического мониторинга является система постоянных наблюдений по времени, по пунктам, по анализируемым загрязнениям. Цель экологического мониторинга – это получение своевременной и достоверной информации о состоянии ОС для управления ее качеством, природоохранной деятельности, информирование граждан о состоянии ОС и т.д.

Оценка текущего и прогнозирование будущего состояния ОС представляет собой сложную задачу. Распространение загрязняющих веществ происходит на расстоянии сотни и тысячи километров с помощью ветров и течений, загрязняющие вещества могут претерпевать превращения в результате химических реакций в другие, иногда более токсичные вещества, переходить из одной среды в другую, например, из атмосферы в почву, поверхностные и грунтовые воды. Экологический мониторинг включает в себя не только мониторинг химических загрязнений, но и радиоактивных, биологических загрязнений, а так же шумов, вибраций, электромагнитных полей.

В системе экологического мониторинга в зависимости от характера решаемых задач условно выделяют четыре уровня: 1) фоновый; 2) региональный; 3) локальный; 4) мониторинг источников выбросов.

Фоновый мониторинг служит для определения «фоновое» состояния ОС, то есть «нуль отсчета», относительно которого определяется уровень загрязнения. Фоновый мониторинг проводится на базовых станциях, расположенных в местах, удаленных от источников загрязнения, то есть вблизи базовых станций не должно быть населенных пунктов, предприятий, автомобильных и железных дорог, самолетных трасс, сельскохозяйственных объектов и т.д. Местоположение базовых станций не должно быть подвержено и воздействию таких природных явлений, как вулканическая деятельность, песчаные бури, лесные пожары и т.п. В программу фонового мониторинга входят наблюдения:

а) за составом, миграцией и круговоротом загрязняющих веществ;

б) за гидрометеорологическими параметрами, такими как температура, направление и скорость ветра, осадками, снежным покровом, уровнем солнечного излучения и т.д.;

в) за реакцией биоты на уровне популяций и экосистем.

При проведении фонового мониторинга исследуют на наличие загрязняющих веществ воздух, атмосферные осадки, сухие атмосферные выпадения, снежный покров, подземные и поверхностные воды, донные отложения, почву, растительный материал, ткани животных. Программа фоновых измерений атмосферы предусматривает измерение концентраций оксида и диоксида углерода (CO , CO_2), оксида и диоксида азота (NO , NO_2), диоксида серы (SO_2), озона (O_3), углеводородов (C_xH_y), ртути и хлора. В атмосферных осадках и выпадениях, в воде и почве измеряют концентрации тяжелых металлов, катионы, анионы, полиароматические углеводород (ПАУ), пестициды.

Региональный мониторинг проводится в достаточно большом регионе по характерным особенностям воздействия на ОС промышленности или сельского хозяйства, сходными климатическими условиями, рельефом местности и т.п. На региональном уровне также есть ряд станций, которые проводят фоновый мониторинг. Региональный фоновый мониторинг позволяет более оперативно отслеживать изменения состояния ОС и негативные воздействия загрязнений.

Локальный мониторинг проводится в местах, где воздействия на ОС достигают существенных значений, например, в промышленных районах, вблизи автотрасс, аэропортов и т.п.

Мониторинг источников выбросов – это измерение непосредственно в дымовых трубах, стоках, выхлопах автомобилей и т.д. Этот вид мониторинга по своим функциям близок к технологическому контролю, и иногда его не рассматривают как часть системы мониторинга ОС. Ведь концентрации загрязняющих веществ в источниках выбросов могут превышать их концентрации в ОС в тысячи и более раз, и поэтому для измерений часто используются другие методы определения и другие типы приборов.

Для проведения мониторинга ОС во многих государствах существуют национальные системы мониторинга. В Казахстане нет какой-то одной организации, которая проводит мониторинг ОС. Функции национальной системы мониторинга выполняют ряд ведомственных служб, относящихся к комитетам по гидрометеорологии, санитарно-эпидемиологическому надзору, водному хозяйству, министерствам сельского хозяйства, охраны природы и некоторые другие (всего около 20). К сожалению, эти службы слабо связаны между собой организационно и методически, что значительно снижает эффективность системы.

Основная задача национальной системы мониторинга – наблюдение и контроль над уровнем загрязнений, распределением загрязняющих веществ во времени, в пространстве и в различных средах, выявление источников выбросов.

В мониторинге атмосферы станции и посты наблюдения подразделяются на 3 категории:

1) стационарные посты. Они служат для систематических и длительных наблюдений и представляют собой специальные павильоны, оснащенные необходимыми приборами и аппаратурой для отбора проб, непрерывной регистрации концентраций загрязняющих веществ и определения метеопараметров.

2) маршрутные посты. Они служат для постоянных наблюдений в определенных точках местности. Отбор проб и метеоизмерения на этих постах проводятся с помощью передвижной лаборатории на автомобиле.

3) передвижные посты. Они служат для разовых наблюдений вблизи источников выбросов.

Экологический мониторинг осуществляет непрерывное наблюдение за состоянием атмосферы, является инструментом для управления качеством воздуха, своевременного предупреждения о неблагоприятных метеоусловиях и возможных выбросах в атмосферу, возникших в результате аварий на предприятиях и своевременного информирования населения о состоянии окружающей природной среды (ОПС).

Гидрометеорологическая служба есть государственный субъект экологического мониторинга. На территории всей страны расположены посты гидрометеорологической службы, образующие единую сеть мониторинга и проводящие контроль над загрязнением воздуха. В Казахстане, как и во многих странах Европы и Азии, единая сеть мониторинга была разработана с учетом требований нормативных документов, которые существовали в бывшем СССР в начале 60-х годов XX века. Изменение законодательных документов в середине 90-х годов двадцатого века позволило сформулировать основные задачи системы мониторинга на государственном и региональном уровнях. После этого времени существенного обновления законодательной и нормативной базы документов в области экологического мониторинга не проводилось.

В большинстве случаев измерения производятся вручную на стационарных постах мониторинга, которые представляют собой специально оборудованные павильоны [3]. Полученные таким образом данные обобщаются и сохраняются преимущественно на бумажных носителях. Субъекты мониторинга могут также осуществлять ввод информации в информационные системы, однако используемое ими программное обеспечение (ПО) и форматы представления данных были разработаны еще в середине 80-х годов и сегодня считаются крайне устаревшими.

На сегодняшний день существует необходимость создания в странах на государственном уровне взаимосвязанных информационных систем для контроля качества атмосферного воздуха, включая справочные центры и Dataцентры, используя для этого руководящие принципы и инструменты Европейского Агентства по Окружающей Среде (ЕАОС). Исходя из

международных норм, информационные системы экологического мониторинга государственного и регионального уровней должны обеспечивать:

- применение автоматических средств контроля, газоанализаторов, метеостанций при поддержке соответствующего ПО в случае, если наблюдаемым величинам свойственны быстрые изменения [113];

- расширение компьютерных сетей и информационных ресурсов для облегчения обмена информацией между учреждениями, использование совместных баз данных и программного обеспечения на всех уровнях правительственных органов [114];

- моделирование процессов рассеивания примеси с применением современных методов обработки данных [114,115];

- совместимость с информационными технологиями, разрабатываемыми ЕАОС, в частности Глобальной системой поиска экологической информации [116], европейской сетью наблюдения и информации по окружающей среде (EIONET) [117], базой данных КИД [117], европейской сетью мониторинга вод EUROWATERNET, системой подготовки отчетов REPORTNET и т.д.

Развитие современных систем мониторинга основано на применении информационных технологий для автоматизации измерительных процессов и процессов моделирования, разработке протоколов обмена информацией и совместного использования пространственных баз данных, геоинформационных систем (ГИС) и IT-технологий. Повышенное внимание должно уделяться вопросу совместимости систем национального уровня с действующими проектами ЕАОС.

Разработкой информационных систем мониторинга ОПС на европейском уровне и их поддержкой занимаются ведущие организации, например, Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) и ЕАОС.

Одной из основных задач ЕАОС является координирование работ в области мониторинга ОПС всех стран-участников. Для решения этой задачи используются последние достижения в области информационных технологий. Одним из перспективных проектов ЕАОС по данному направлению является разработка европейской сети мониторинга ОПС EIONET. Сейчас в проекте EIONET участвует около 30 стран, еще 6 поддерживают активное сотрудничество. Регулярную поставку данных координируют более 900 экспертов из разных стран, обладающих определенными правами в соответствии с уровнем доступа. Сеть EIONET является одновременно и сетью организаций, образованной странами-участниками и международными структурами, и электронной сетью, которая необходима для их взаимодействия. Она ориентирована, в первую очередь, на обмен данными мониторинга ОПС. Для обмена данными на разных уровнях между странами-участниками применяется межсетевой шлюз REPORTNET. В состав eEIONET входит центральное хранилище данных (Data-center), справочные, информационные и координационные центры, а также множество программных систем, которые осуществляют сбор и анализ поставляемой информации. В качестве примера подобной системы следует выделить Глобальный Каталог Источников данных

(CDS), клиентскую часть которого, WinCDS, распространяет ЕАОС среди стран-участников EIONET. Помимо CDS в eEIONET включена поддержка многоязычного интерфейса, ПО для создания информационных порталов Portal Tools Kit (РТК) и т.д. Ввиду разных уровней информационного развития непосредственных стран-участников обмен данными в сети eEIONET осуществляется разными способами, включая ручную поставку данных. Количество наблюдаемых параметров, виды загрязнителей и частота поставки данных определяются возможностями конкретных стран-участников. За качество поставляемых данных и проводимых измерений отвечает национальный центр конкретной страны.

Слежение за состоянием атмосферы на основе технологий дистанционного зондирования используется совместно ВМО и Национальным управлением по аэронавтике и исследованиям космического пространства (НАСА). Идея спутникового дистанционного зондирования заключается в регистрации характеристик отраженных от поверхности Земли разных полей (оптических, акустических, инфракрасных), посылаемых спутником. Технология основана на различиях спектрального состава при прохождении волны определенной длины в различных загрязнителях атмосферного воздуха и поэтому может быть использована для косвенного измерения концентрации вещества.

Помимо наблюдения за состоянием атмосферы и поверхностных вод указанная технология позволяет оценивать структуру рельефа, составлять карты лесных пожаров, наводнений и т.д. Одним из перспективных проектов ВМО и НАСА является проект ГЕОНетКаст, который позволяет совместить технологию глобального обмена любыми данными по спутниковым каналам связи с технологиями дистанционного зондирования. Данный проект дает возможность проводить комплексный мониторинг в режиме реального времени с накоплением наблюдаемых значений в комплексной ГИС. При этом объем данных и точность проводимых измерений за последние 10 лет по данным [118] существенно возросли. Если к 2000 году удалось получить карту поверхности планеты, имеющую точность изображения рельефа ± 10 м [12], то новейшие технологии (QuickBird, Ikonos и др.) достигают разрешающей способности 0,61 м [119].

Объемы наблюдаемых данных возрастают квадратично с уменьшением разрешающей способности, и сегодня ежегодный прирост данных составляет от одного до нескольких десятков петабайт. Использование указанных технологий сопряжено с большими финансовыми затратами, что для ряда стран ВЕКЦА сегодня недоступно. Эти технологии не призваны полностью вытеснить наземные сети мониторинга, а позволяют существенно их расширить, поэтому вопрос адаптации национальных сетей мониторинга стран ВЕКЦА к требованиям европейского уровня является актуальным.

Перспективы информационного развития государственной системы мониторинга атмосферы Казахстана направлены на разработку информационной системы экологического мониторинга атмосферы, в которой подсистема предоставления данных оперативному персоналу используется для

визуализации данных, полученных в результате анализа и представленных в виде:

- отчетов о состоянии атмосферы, форма, которых соответствует как международным, так и национальным стандартам. При разработке подсистемы предоставления информации могут быть использованы современные технологии формирования документов (например, система документооборота проекта REPORTNET);

- карт загрязнения атмосферы, которые отображают состояние наблюдаемых значений в виде полей. Такими значениями могут быть текущие уровни загрязнений или распределения метеорологических параметров. Для построения карты состояний может быть использована технология Google Maps® или Google Earth®. Сервисы Google Maps и Google Earth являются открытыми ресурсами и предназначены для визуализации различных тематических данных.

Рассмотрим программные реализации математических моделей на практике, которые представляют собой сложные системы, учитывающие различные факторы, такие как: динамику турбулентных воздушных потоков; перенос тепла, пыли и реагирующих газообразных загрязнителей; перенос прямого солнечного и диффузного излучений; влияние излучения на тепловые процессы и фотохимические реакции; динамику водяного пара и капель; конденсацию и испарение; поглощение (и высвобождение) газообразных загрязнителей каплями.

Необходимо также отметить, что сложные математические модели распространения загрязняющих веществ в атмосфере проектируются под конкретную задачу и разрабатываются конкретными организациями или научно-исследовательскими институтами. Наиболее известными реализациями моделей рассеяния газов являются методика Всемирного банка, методики класса HGSYSTEM, методики, созданные такими организациями как TNO (Голландия), Det Norske Veritas (DNV Technica) (Норвегия), U. S. Environmental Protection Agency (EPA – агентство защиты окружающей среды США), NIST (Национальный институт стандартов и технологий США), методики класса DEGADIS. Разработанные методики реализуются в виде определенных программных продуктов.

Основными разработчиками прикладного программного обеспечения для этого класса моделей являются компании Lakes Environmental (Канада) и BREEZE (США). Модели AERMOD содержат три основных модуля: AERMOD (модель дисперсии примеси в атмосфере), AERMET и инструментальный набор AERSURFACE для создания входных данных связанных с состоянием атмосферы и рельефом местности, AERMAP – программные средства, предназначенные для привязки модели к трехмерным данным местного рельефа и объектов. Кроме того, в моделях данного класса содержится ряд средств, позволяющих учитывать особенности распространения примеси над трассами, водными преградами, лесным массивом и т.д. Использование моделей этого класса связано с существенными затратами и усилиями при

подготовке входных данных и имеет смысл при оценке экологических рисков от промышленных источников загрязнения.

Модели CALPUFF являются современной нестационарной метеорологической и воздушной системой моделирования качества воздуха, разработанной учеными ASG. Она поддерживается разработчиками модели и распространяется TRC. Модель была принята американским управлением по охране окружающей среды (EPA) как привилегированная модель для того, чтобы оценить дальний перенос загрязнителей и их воздействий на федеральные области. Система моделирования состоит из трех главных компонентов и ряда программ предварительной и постобработки обработки. Главные компоненты системы моделирования - CALMET (диагностическая 3-мерная метеорологическая модель), CALPUFF (модель дисперсии качества воздуха), и CALPOST (пакет постобработки). У каждой из этих программ есть графический интерфейс пользователя. В дополнение к этим компонентам есть многочисленные другие процессоры, которые могут использоваться, чтобы подготовить геофизические (землепользование и ландшафт) данные во многих стандартных форматах, метеорологические данные (поверхность, верхний воздух, осадение, и буйковые данные), и интерфейсы к другим моделям, таким как Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). Модели ADMS3. ADMS-3 является современной моделью дисперсии для вычисления концентрации загрязнителей, выпускаемых из точечных, линейных, объемных и площадных источников. Модель включает алгоритмы, которые принимают во внимание следующее: эффекты основного участка застройки; сложность местности; влажное осадение, гравитационное осадение и сухое осадение; краткосрочные колебания в концентрации; химические реакции; радиоактивный распад и гамма доза; повышение факела как функции расстояния; потоки и направленные выбросы; усреднение времени в пределах от очень короткого к ежегодному. Модели CALINE3 являются стационарной гауссовской моделью дисперсии, разработанной для определения концентрации загрязнения воздуха в относительно несложной местности. CALINE3 включена в более усовершенствованные модели CAL3QHC и CAL3QHCR. STDMPPLUS является усовершенствованным точечным источником гауссовской модели качества воздуха для использования в условиях сложного ландшафта. Модели OCD является моделью, разработанной для определения воздействия эмиссии от точечных, площадных или линейных источников на качество воздуха в прибрежных районах.

На основании анализа источника [120] можно сделать вывод о том, что данные модели являются наиболее рекомендованными в различных странах для определения концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. Рассмотренные модели в большей мере конкретизированы для определенных задач и ориентированы на однопроцессорные системы. Также существует ряд и других моделей. Большей частью используются модели на основе распределения Гаусса (например, ADAM, ISC-3), реже модели на основе уравнений Эйлера и/или Навье-Стокса (Chensi, CAMx, PANACHE, REMSAD, WYNDVALLEY).

Иногда дополнительно применяется лагранжева модель для расчета переноса пыли (RAPTAD, PANACHE). Наиболее совершенные программы учитывают факторы химической кинетики (ADAM, ADMS-3, CAMx, PANACHE, REMSAD, RPM-IV и другие), переноса тепла (ADAM, PANACHE), сложной геометрии области (ADMS-3, ISC-3, PANACHE и другие), турбулентности (PANACHE). Подобные расчеты также могут производиться универсальными системами моделирования (FlowVision, FLUENT, GAS DYNAMICS TOOL, PHOENICS, Star-CD и другими), многие из которых существуют как в однопроцессорной, так и в многопроцессорной версиях.

Рассмотрим некоторые универсальные системы. Например, пакет GAS DYNAMICS TOOL позволяет рассчитывать многофазные течения (с учетом тепла, химической кинетики, межфазных переходов) в областях сложной формы путем численного решения трехмерных уравнений Эйлера или Навье-Стокса (на однопроцессорных и многопроцессорных системах). Используется метод крупных частиц на основе явной двухшаговой схемы первого порядка. Данный пакет не учитывает факторы турбулентности и излучения. Значительно более мощным является пакет Star-CD, позволяющий рассчитывать многофазные потоки (с учетом межфазных переходов, тепла, турбулентности и химической кинетики) путем численного решения трехмерных уравнений Навье-Стокса или Рейнольдса. Пакет предоставляет широкий выбор моделей турбулентности. Существует и параллельная реализация данного пакета Star-NPC, показывающая достаточно хорошие результаты по эффективности распараллеливания. Пакет FLUENT является одним из наиболее популярных и мощных средств для однопроцессорных и параллельных расчетов многофазных потоков с учетом межфазных переходов, тепла, излучения, наличия дискретных сред (капель, пылевых частиц) и других факторов.

Имеются различные модели турбулентности и прочих физических процессов. Универсальность упомянутых пакетов фактически заключается в попытках применения достаточно ограниченного набора моделей, алгоритмов и методов к множеству различных случаев. Очевидно, что программы, ориентированные на решение конкретного класса задач, способны решать данные задачи более эффективно. Значительно меньшее число специализированных программ моделирования распространения загрязнений ориентировано исключительно на многопроцессорные системы. Две наиболее известные разработки: ECOSIM и MAQSIP. Оба программных комплекса имеют модульную структуру, причем распараллелены лишь некоторые модули. Так, в ECOSIM распараллелен модуль, осуществляющий интегрирование уравнений переноса загрязнителей и уравнений химической кинетики. В MAQSIP распараллелен модуль, отвечающий за моделирование образования аэрозолей.

Безусловно, для обеспечения наивысшей эффективности вычислений необходима более высокая степень распараллеливания, что возможно лишь при организации системы как единого целого. В свою очередь, повышение эффективности вычислений позволяет использовать более сложные и точные

математические модели и методы решения. Например, вычислительная гидродинамика CFD. По данным источника [120] некоторые из вышеперечисленных программных продуктов относятся к отдельно рассматриваемому классу моделей – классу CFD. Computational fluid dynamics (CFD) или вычислительная гидродинамика – это совокупность физических, математических или численных методов, предназначенных для компьютерного моделирования процессов, происходящих в жидкой или газообразной среде. CFD позволяет построение виртуальной модели процесса или устройства, разбиение которого на элементарные элементы делает возможным прямое решение базовых уравнений, формулирующихся физическими и химическими механизмами, характерными для данного процесса. Вычислительная гидродинамика позволяет работать в таких областях, как: гидро- и газодинамика, тепло- и массоперенос, движущиеся тела, многофазные потоки, химические реакции, горение, турбулентность, акустика, сопротивление материалов. Базой любого исследования в области вычислительной гидродинамики является формулировка основных уравнений гидро-и газодинамики потоков, а именно:

- уравнения неразрывности;
- уравнения сохранения импульса;
- уравнение сохранения энергии;
- уравнение состояния (для газов).

Вышеназванные уравнения представляют собой базовую модель течения среды, которая в зависимости от особенностей решаемой задачи может быть дополнена уравнениями для моделей турбулентности, переноса веществ, химических реакций, учета многофазности, электромагнитных взаимодействий и т. д. Все перечисленные математические формулировки являются системой нелинейных дифференциальных уравнений 2-го порядка, имеющих аналитическое решение лишь в очень простых случаях. Для широкого спектра природных и технологических процессов задачу можно решить численно в том случае, если производные, стоящие в уравнениях, заменить на конечные разности, созданные на малых пространственных и временных интервалах. В случае моделирования реального процесса производится так называемая дискретизация пространства и времени, таким образом, что геометрия процесса разбивается на расчетные ячейки, выбранные особым образом, а время процесса — на расчетные временные интервалы.

Перечислим различные методы решения системы уравнений, применяемые в CFD-моделях [121]:

- 1) метод конечных разностей;
- 2) метод конечных объемов;
- 3) метод конечных элементов;
- 4) метод сглаженных частиц;
- 5) метод с использованием функции распределения вероятности.

Реализуются данные методы с помощью программных модулей - CFD-решателей. Такое физическое моделирование позволяет проводить

оптимизацию технологических процессов в короткие сроки, тестируя многочисленные варианты работы, позволяя предсказать различные сценарии развития процесса при варьировании исходных данных [122].

Сделаем краткий обзор современных информационных систем мониторинга загрязненности атмосферного воздуха.

Одной из современных систем мониторинга атмосферного воздуха является система «Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map», разработанная в Китае.

Экологической организацией Air Quality Index China была создана интерактивная карта «Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map», связанная с более 5000 источниками данных всего мира. Так, например, Дели (Индия), согласно «Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map», уже достиг опасного уровня загрязнения. Указанная экологическая карта проводит сбор данных из более 5000 каналов и 8000 станций мониторинга разных стран, где производится анализ качества воздуха. Карта представляет информацию о загрязнении по 6 уровням: от «Хороший» («Good») – зеленого цвета до «Опасный» («Hazardous») – темно-красного цвета. Период обновления карты составляет 15 минут. Карта (рисунок 3.1 - 3.2) позволяет увидеть уровень экологического загрязнения разных городов мира. Так, в Китайской Народной Республике большая часть городов находится в зоне «Вредный» («Unhealthy»), а некоторые даже в «Опасной» («Hazardous») зоне. Для США качество воздуха находится на уровне «Хороший». А в Европе и Японии находим одинаковое распределение зон «Хороший» («Good») и «Умеренный» («Moderate»). Как видите, карта является неполной. На карте недостаточно данных по таким странам, как Казахстан, Россия, Африка, Южная Америка, Средняя Азия и Ближний Восток. Создатели карты полагают, что наблюдения за состоянием атмосферы в режиме реального времени привлечет внимание чиновников, ответственных за экологическое загрязнение [123]. Анализируемая система мониторинга призвана решить задачи, которые связаны с управлением качеством воздуха:

- получить объективные исходные данные с целью разработки природоохранных мероприятий, градостроительного планирования и планирования транспортных систем;
- информировать общественность о качестве атмосферного воздуха и развертывание систем предупреждения в случае резкого повышения уровня загрязнения;
- провести оценку воздействия загрязненного воздуха на здоровье человека.

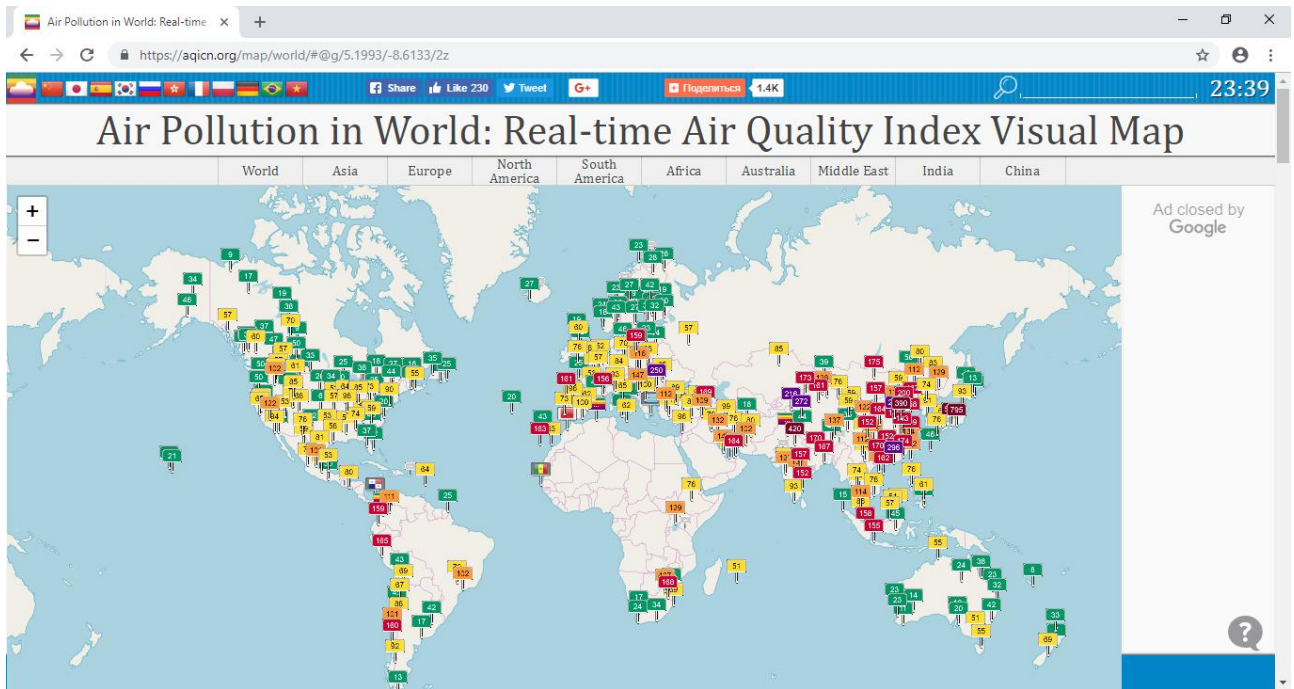


Рисунок 3.1 - Интерактивная карта загрязнения атмосферы в мире «Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map» (Китай)

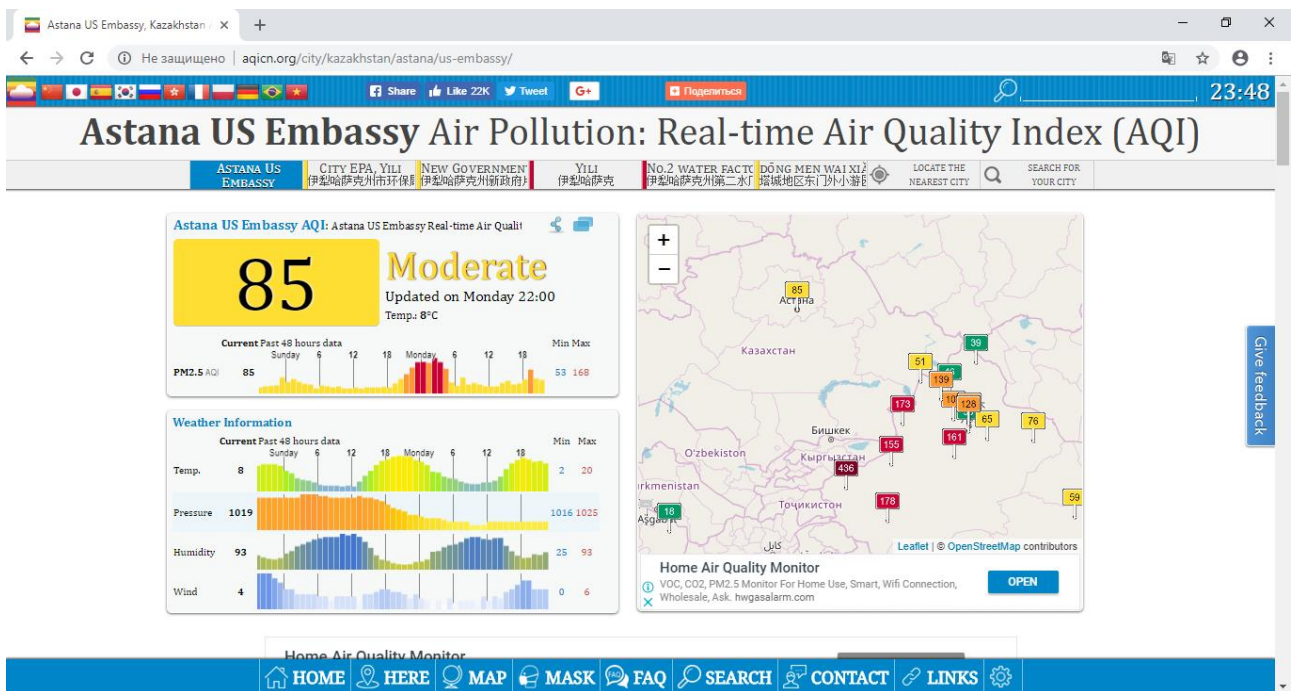


Рисунок 3.2 - Интерактивная карта загрязнения атмосферы «Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map» для города Астана, Казахстан

Рассмотрим систему мониторинга атмосферного воздуха АСМ Российской Федерации. Мы изучили систему мониторинга атмосферного воздуха (АСМ) города Санкт-Петербурга Российской Федерации, которая предназначена информировать органы государственной власти, органы

местного самоуправления и население о состоянии атмосферного воздуха. В состав АСМ входят: 21 автоматическая станция мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, 2 передвижные лаборатории мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и 2 отдельные метеорологические станции. Станции АСМ позволяют получать оперативную информацию о степени загрязненности атмосферы, об основных загрязняющих веществах. Расположение станций соответствует 18 административным районам Санкт-Петербурга. Функционирование станций происходит в автоматическом режиме, периодичность – 20 минут, в течение которых проводятся автоматические измерения концентраций загрязняющих веществ. Эксплуатация станция осуществляется специализированной фирмой «Минерал» города Санкт-Петербурга. Данные системы мониторинга находятся на экологическом портале Санкт-Петербурга в разделе атмосферный воздух (рисунок 3.3) и доступны всем желающим [5].

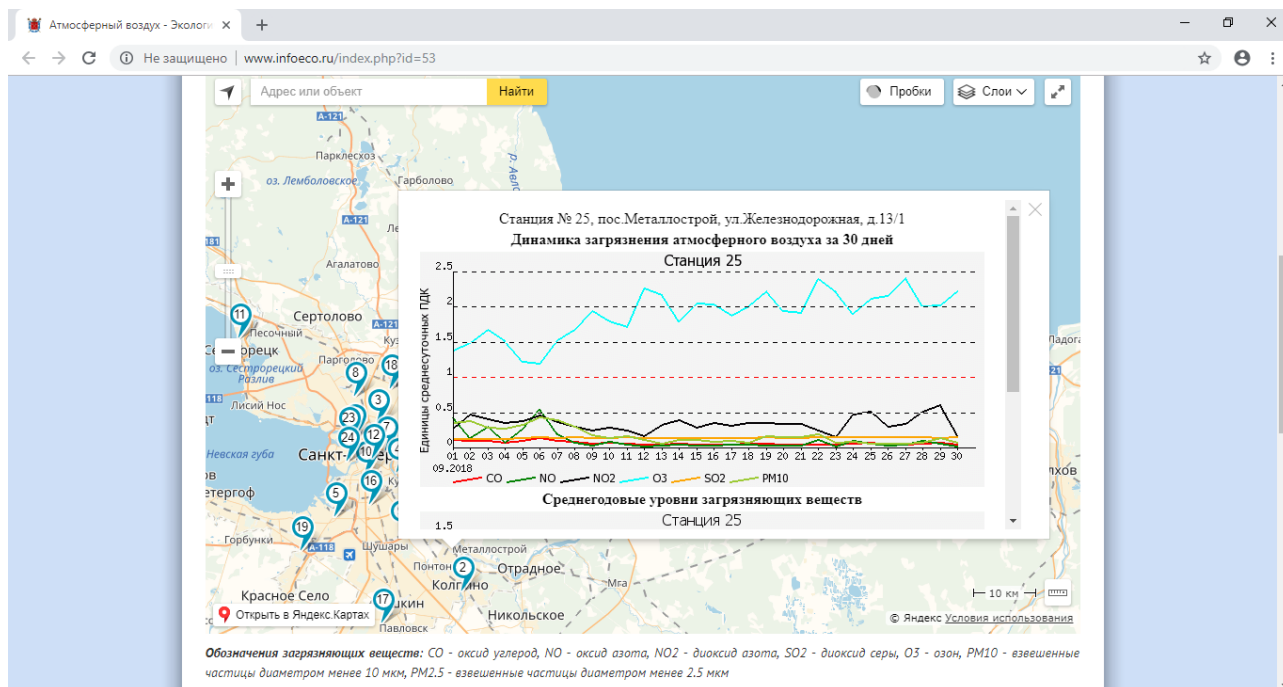


Рисунок 3.3 – Данные об уровне загрязнения атмосферного воздуха основными загрязняющими веществами на экологическом портале города Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Приводим результаты анализа работы Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь.

Пункты наблюдений (рисунок 3.4) The National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus осуществляют сбор и обработку данных о состоянии атмосферы. Мониторинг атмосферного воздуха проводится в рамках реализации экологического наблюдения Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Объектами такого мониторинга становятся наблюдения за атмосферным воздухом, атмосферными

осадками, снежным покровом. На сегодняшний день 19 промышленных и ряд других городов (Барановичи, Борисов, Бобруйск, Жлобин, Лида, Мозырь, Новогрудок, Новополоцк, Орша, Полоцк, Пинск, Речица, Светлогорск и Солигорск) республики имеют автономные станции (рисунок 3.4), которые проводят мониторинг атмосферного воздуха. Максимальное количество станций в Минске – 12, по 5 станций в городах Могилев, Гомель и Витебск, по 4 станции в Бресте и Гродно, остальные промышленные центры имеют от 1 до 3 станций.



Рисунок 3.4 - Схема размещения автономных станций Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь

Практически 87% населения, проживающего в крупных и средних городах республики, находятся на территории постоянного мониторинга, который исследует такие концентрации загрязняющих веществ, как твердые частицы (неразделённые по составу пыль/аэрозоль), оксид углерода, диоксид серы, диоксид азота. Измерению подвергаются и концентрации приоритетных специфических загрязняющих веществ: формальдегида, фенола, аммиака, сероуглерода, сероводорода. Перечень специфических веществ создавался с учетом следующих факторов: размер города, предельно допустимые концентрации, коэффициент рассеивания и выбросы каждого вещества. Во всех городах, где находятся автоматические станции мониторинга, выявляется процент содержания в воздухе кадмия и свинца, а также летучих органических соединений, проходит измерение концентрации приземного озона и твердых частиц размером до 10 микрон, а в Жлобине проводят дополнительные

измерения концентраций твердых частиц размером до 2,5 микрон. Основной солевой состав и наличие в нем тяжелых металлов, а так же кислотность атмосферных осадков определяется в 22 пунктах республики. Специализированная трансграничная станция Высокое направлена на оценку дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ. Станция фоновое мониторинга Березинский заповедник, работающая под эгидой программы Глобальной Службы Атмосферы, следит за состоянием воздуха и атмосферных осадков.

В Республике Казахстан действует мобильное приложение Almaty Urban Air (AUA), в основе которого лежат показания приборов, установленных на территории Казахского Национального медицинского университета имени Асфендиярова города Алматы Республики Казахстан. Единицей измерения уровня загрязнения воздуха является PM10. В приложении (рисунок 3.5) показана концентрация частиц размером до 10 микрометров, которые способны проникать и накапливаться в легких человека. Заметим отсутствие в мире единого стандарта предельно допустимых значений PM10. Для Республики Казахстан нормой PM10 является 60 микрограммов на кубический метр, что позволяет человеку безвредно дышать таким воздухом годами. Предельно допустимая максимальная разовая концентрация PM10 составляет 300 микрограммов на кубический метр, при такой концентрации вдыхание воздуха в течение 20-30 минут не должно вызвать рефлекторных реакций в организме. Обновление данных в приложении AUA происходит каждый час. Пользователям предоставлена возможность просмотра динамики изменения концентрации пыли в течение дня. Рядом с показаниями уровня загрязнений высвечиваются рекомендации разработчиков программы. Так, например, если показания соответствуют высокому уровню загрязнения воздуха, то жителям советуют не выходить на улицу или уехать за город [7].



Рисунок 3.5 - Показания уровня загрязнения воздуха города Алматы Республики Казахстан в приложении Almaty Urban Air

Изучение систем мониторинга атмосферного воздуха разных стран позволило сделать сравнительный анализ по следующим показателям: возможность работы в режиме онлайн, доступность, процент покрытия на территории, возможность расширения функциональных возможностей системы, возможность поиска по конкретным регионам, количество станций, количество анализируемых веществ (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Результаты сравнительного анализа систем мониторинга загрязнённости воздушного бассейна разных стран

Название системы Показа- Тели	Система мониторинга атмосферного воздуха в мире (Китай)	Система мониторинга г. Санкт-Петербурга (Российская Федерация)	Система мониторинга в Республики Беларусь	Мобильное приложение AUA г. Алматы (Республика Казахстан)
1	2	3	4	5
Режим работы	Непрерывный	Непрерывный	Непрерывный	Непрерывный
Использование ГИС	Показывается на карте мира	Показывается на карте одного города	Показывается на карте одного государства	Не использует
Возможность мониторинга в режиме реального времени	Возможно	Возможно	Возможно	Возможно
Доступность	В общем доступе	В общем доступе	В общем доступе	В общем доступе
Процент покрытия на территории, охватываемой системой	70%	85%	65%	5%
Возможность расширения функционала системы	Имеется	Не имеется	Не имеется	Не имеется
Возможность поиска по регионам	Есть	Нет	Есть	Отсутствует
Количество станций	>5000	25	22	1
Количество анализируемых веществ	31	15	18	8

Итак, все представленные системы мониторинга предоставляют информацию о загрязнении воздушного бассейна в режиме on-line. Используют технологию ГИС три системы: Система мониторинга атмосферного воздуха в

мире (Китай), Система мониторинга г. Санкт-Петербурга (Российская Федерация), Система мониторинга Республики Беларусь. Процент покрытия дает возможность соотнести фактический охват территории системы с предполагаемой зоной. Считаем, что в качестве прототипа можно использовать систему мониторинга Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map, поскольку в ней предусмотрено расширение функциональных возможностей, а так же число анализируемых загрязняющих веществ выше, чем у других.

Таким образом, экологический мониторинг осуществляется с помощью информационной системы, ведущей три направления деятельности: наблюдение; прогноз состояния окружающей среды и его оценка. Рассмотренные программные реализации математических моделей экологического мониторинга учитывают различные факторы.

Наиболее известными реализациями моделей рассеивания газов являются методика Всемирного банка, методики класса HGSYSTEM, методики, созданные такими организациями как TNO (Голландия), Det Norske Veritas (DNV Technica) (Норвегия), U. S. Environmental Protection Agency (EPA – агентство защиты окружающей среды США), NIST (Национальный институт стандартов и технологий США), методики класса DEGADIS. Разработанные методики реализуются в виде определенных программных продуктов. Нами рассмотрены широко распространенные используемые в США, Канаде, ЕС и других странах: AERMOD, CALPUFF, CALINE3, OCD, ECOSIM и MAQSIP, CFD.

Для проведения мониторинга окружающей среды во многих государствах существуют национальные системы мониторинга. Сравнительный анализ информационных систем мониторинга загрязнённости воздушного бассейна позволил выявить, что прототипом авторской программной разработки может быть система организации Air Quality Index China.

3.2 Разработка системы моделирования процесса рассеивания вредных примесей, выбрасываемых автотранспортом в атмосферный воздух

3.2.1 Инфологическая модель системы

С целью достижения цели диссертационной работы нами разработана система моделирования процесса рассеивания вредных примесей от автотранспорта в атмосферном воздухе на примере города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области, которая реализует алгоритм расчета загрязнений от выбросов вместе с сопутствующим инструментарием.

На рисунке 3.6 представлена общая схема расчета загрязнения. На основе данной схемы разработана система моделирования процесса рассеивания вредных примесей, выбрасываемых автотранспортом в атмосферный воздух.



Рисунок 3.6 - Схема процесса расчета загрязнения

Разработанная информационная система позволяет задавать параметры алгоритма – дорожный граф, отображаемый на карте выбранного города, параметры узлов и ребер дорожного графа и общие характеристики, влияющие на экологическую ситуацию в городе, связанную с загрязнением от транспортных средств. На рисунке 3.7 представлена инфологическая модель системы моделирования процесса рассеивания вредных примесей, выбрасываемых автотранспортом в атмосферный воздух.

Показаны основные классы данной системы:

Meteo data – метео данные;

Calculation - расчет мощности выбросов и переноса загрязняющих веществ;

Pollutants - загрязняющие вещества;

Intersection - перекресток;

Motor vehicles - автотранспортные средства по типам;

Stream of cars - поток автомобилей;

Road - дорога;

Traffic light - светофор;

Load – нагрузка.

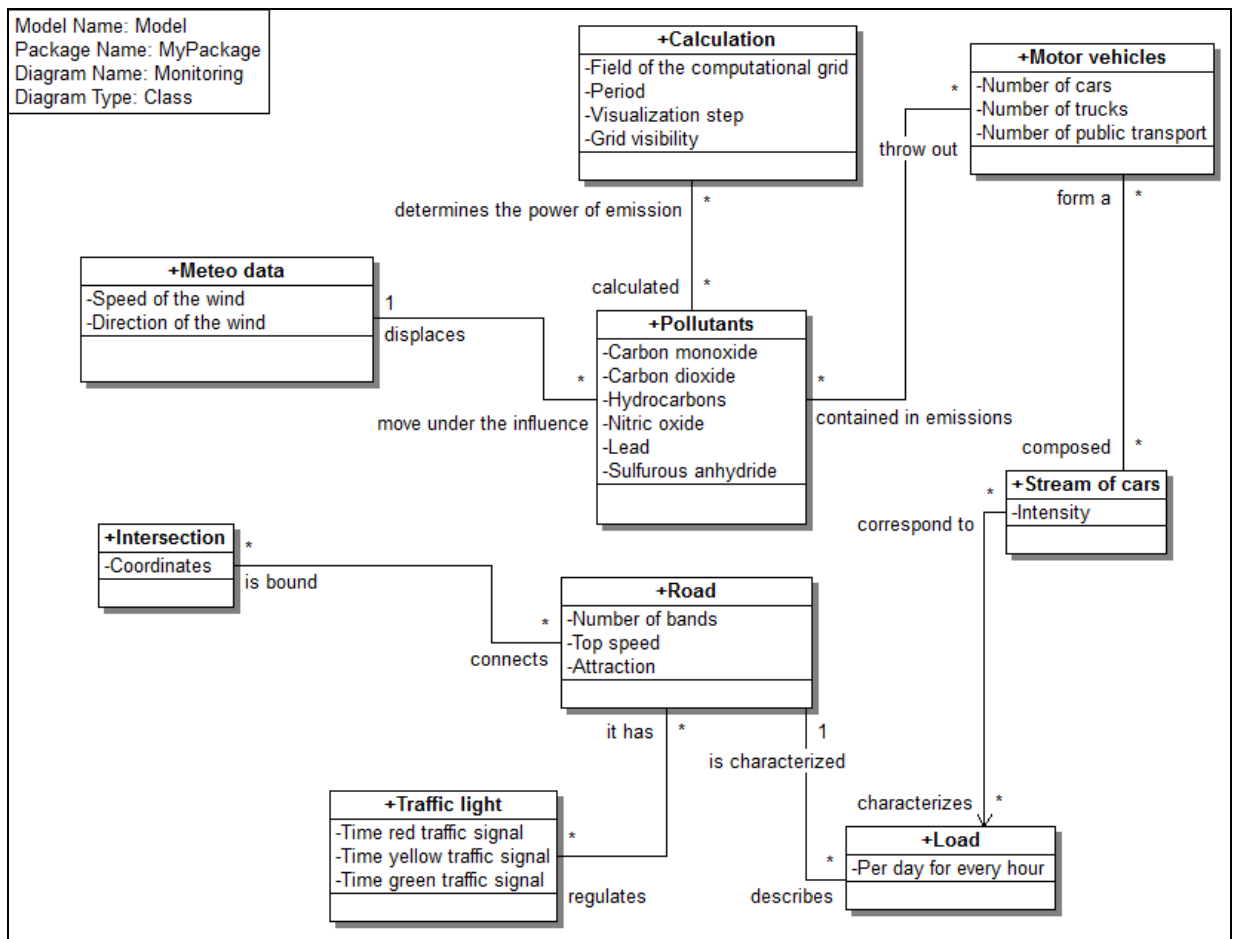


Рисунок 3.7 - Инфологическая модель системы

Программная система представляет собой Web-приложение, реализованное в среде Microsoft Visual Studio Community 2015. Данная среда является свободно распространяемым программным обеспечением, предоставляющим гибкие возможности для разработчика, такие как редактор исходного кода, подсветку синтаксиса, средства отладки и профилирования, компилятор .NET-языков, современные средства Web-разработки и многое другое.

Разрабатываемая информационная система реализовала средства работы с картами. Однако данная функция является весьма трудной, хоть и для ее осуществления есть множество готовых решений с открытым исходным кодом. Наиболее доступными и функционально богатыми являются Web-ориентированные решения, поэтому в качестве языка программирования нами был выбран стек JavaScript + HTML5 + CSS [110].

В качестве библиотеки при реализации множества решений стандартных задач в проекте были использованы:

Leaflet.js (<https://leafletjs.com/>) – ведущая JavaScript-библиотека для разработки веб-приложений, ориентированных на интерактивные карты, на разработку как настольных, так и мобильных приложений.

Materialize.css (<https://materializecss.com/>) – современный адаптивный front-end фреймворк, основанный на концепции *Material Design*. Данная библиотека

позволяет быстро создавать адаптивный и привлекательный пользовательский Web-интерфейс.

jQuery (<http://jquery.com/>) – быстрая, маленькая и многофункциональная библиотека JavaScript упрощающая манипулирование HTML-документами, обработку событий, анимации и выполнение Ajax-запросов с помощью простого в использовании API, который работает во множестве браузеров.

Vue.js - (<https://ru.vuejs.org>) – прогрессивный, доступный производительный и разносторонний JavaScript-фреймворк, позволяющий создавать легкие и многофункциональные одностраничные Web-приложения.

Heatmap.js - Leaflet – плагин для отображения тепловой карты.

RTree.js – маленькая JavaScript-библиотека для создания пространственных индексов на основе алгоритма r-tree.

Общее описание проекта. Вся бизнес-логика приложения реализуется на стороне браузера.

3.2.2 Архитектура информационной системы

Приводим описание архитектуры, разработанной Web-ориентированной информационной системы. Информационная система разбита на модули. Каждый модуль обеспечивает фиксированный круг потребностей приложения. Отдельный модуль представляет собой класс, содержащий необходимые для его работы методы. В соответствии со спецификой JavaScript, фактически, каждый класс реализован в виде функции-прототипа объектов.

Вся HTML-разметка описана в единственном файле index.html (рисунок 3.8).

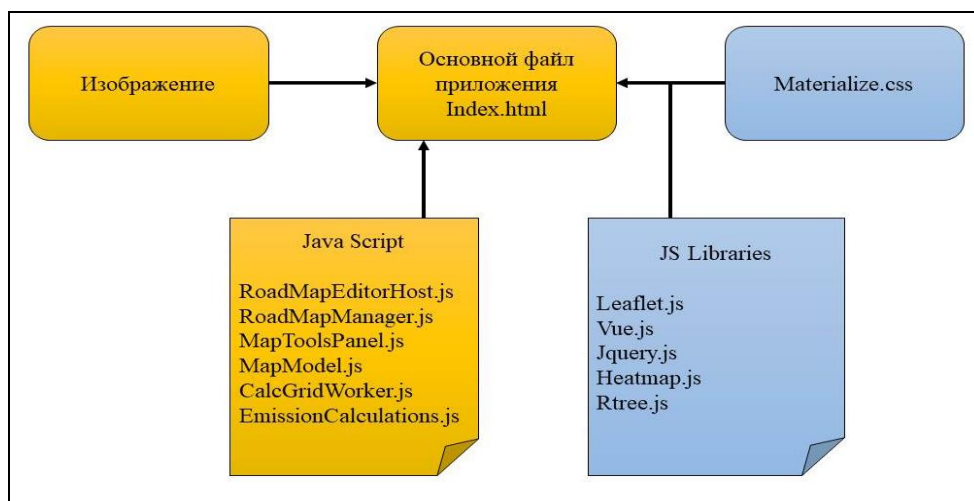


Рисунок 3.8 - Файловая структура приложения

Для поддержки реактивности, обеспечения двухсторонней привязки данных к элементам управления используется фреймворк Vue.js.

Команды управления, размещаемые на панели инструментов, реализуются независимо в отдельных классах. Это позволяет гибко управлять составом

инструментов, используемых для редактирования параметров расчетной модели.

Главный контейнер (`RoadMapEditorHost`) Web-приложения служит точкой входа в приложение. Переменная, хранящая экземпляр данного класса, определяется в HTML-файле переменной `MAP_HOST`. Конструктор класса данного модуля принимает в качестве входных параметров идентификатора HTML-элемента для размещения рабочей области карты, бизнес-модель для хранения всех параметров и настроек, необходимых для расчета загрязнений и ссылку на функцию, срабатывающую после завершения процесса создания карты и позволяющую выполнить особые условия инициализации карты.

При инициализации модуля выполняются следующие методы:

- *Создание карты.* При создании карты происходит инициализация библиотеки `leaflet`, в результате чего на HTML-странице появляется карта, используемая в качестве основы для рисования.

- *Создание панели инструментов.* После создания панели инструментов она фиксируется в правой части рабочей области и вызывается метод регистрации инструментов, принимающий массив с экземплярами классов инструментов.

- *Создание слоев с подложками.* Для отображения геоданных на карте необходимо подключить как минимум один тайловый слой. Так как используемые тайлы предоставляются в виде открытых источников, они имеют определенные ограничения производительности. Также, удобным является возможность изменить цветовую схему в процессе работы над созданием дорожного графа. Поэтому при создании карты создается не один, а несколько слоев с тайлами. Переключение между слоями осуществляется при помощи кнопки, расположенной в верхней левой части рабочей области.

- *Регистрация менеджера карты.* Данный метод вызывается при инициализации модуля, в результате чего создается и сохраняется в переменной класса, экземпляре модуля `RoadMapManager`.

- *Регистрация событий карты.* События мыши, связанные с картой, регистрируются один раз при инициализации модуля `RoadMapEditorHost`. События карты вызывают соответствующие им методы модуля. В основном эти методы вызывают тот или иной метод текущего инструмента, передавая в вызов менеджера карты, тип события, необходимые параметры события (например, координаты указателя мыши в виде широты и долготы).

- *Внешние вызовы управления бизнес-моделью.* Это такие операции как загрузка или сохранение модели в файл, создание нового проекта и т.д.

Менеджер карты (`RoadMapManager`) – это модуль, который предназначен для управления элементами карты. Все операции по управлению элементами карты реализованы в рамках данного модуля. При управлении указанными элементами также происходит синхронизация бизнес-модели. В данном модуле реализованы следующие методы:

- *управление картой:* создание слоев подложки, выставление масштаба и начальной позиции.

- *восстановление модели при загрузке*: восстановление расположения узлов, ребер, расчетной сетки и настроек, восстановление их взаимосвязей, восстановление событий элементов;
- *управление узлами*: добавление, удаление, редактирование, активация/деактивация, перемещение вместе со смежными ребрами;
- *управление ребрами*: добавление, удаление, управление количеством и расположением сегментов, активация/деактивация, обработка кликов мыши поблизости от ребер;
- *управление расчетной сеткой*: добавление сетки, перемещение расчетной области, управление расчетными параметрами;
- *управление тепловой картой*: создание, удаление слоя тепловой карты, редактирование массива визуализируемых значений, получение значения в заданной точке;
- *управление процессом расчета*: запуск и прерывание процесса расчета, обеспечение визуализации промежуточных шагов.

Бизнес-модель проекта (MapModel). Данный модуль обеспечивает хранение и реактивное управление данными, содержащими текущие значения расчетных параметров.

При создании экземпляра класса MapModel выбирается экземпляр класса Vue, принимающий идентификатор HTML-элемента, являющегося контейнером, содержащим всю рабочую область, включая карту, панели инструментов и отладочную консоль.

В данном модуле реализованы следующие методы:

- *построение начальной модели*: достаточно сложная структура модели требует отдельного метода для её инициализации
- *управление данными модели*: методы управления данными модели – такие, как управление узлами, ребрами, всевозможными настройками и т.п. – вызываются *Менеджером карты* в процессе управления содержимым карты.
- *построение пространственного индекса ребер*: для эффективного поиска подходящих ребер требуется специальный механизм индексации пространственных данных. В данном проекте используется алгоритм построения пространственного индекса известный как r-tree.

Инструменты, размещаемые на панели инструментов (MapToolsPanel), должны соответствовать требованиям библиотеки leaflet. Также они должны одинаковым образом реагировать на обращенные к ним запросы в событиях карты и размещенных на ней элементов. Эти требования приводят к тому, что все инструменты являются наследниками класса L.EditControl, который, в свою очередь, является наследником класса L.Control, описанного в ядре библиотеки leaflet. Стоит пояснить, что механизм наследования, реализованный в leaflet, требует для создания потомка вызова метода extend. Например, код создания класса L.EditControl выглядит так:

```
L.EditControl = L.Control.extend({
  options: {
    position: 'topright',
```

```

    icon: 'img/tool.svg',
    title: 'Н/Д',
    regEvents: 'click dblclick',
    // событие активации инструмента
    onSelect: function (host) { host.selectTool(this); },
    // событие деактивации инструмента
    onUnselect: function (host) { },
    // событие использования инструмента без активации
    onUse: function (host) { console.log('undefined onUse', this); },
    // событие, источником которого служит клик по карте
    onMapAction: function (evnType, latlng, host) { },
    // событие, источником которого служит клик по элементу (слою)
    onLayerAction: function (evn, layer, host) { },
    // событие, источником которого служит перетаскивание элемента
(слоя)
    onLayerMove: function (evn, latlng, layer, host) { },
  },
  onAdd: function (map) {
    var container = L.DomUtil.create('div', 'leaflet-control');
    var link = L.DomUtil.create('a', '', container);
    link.href = '#';
    link.title = this.options.title;
    var img = L.DomUtil.create('img', 'map-ctrl', link);
    img.src = this.options.icon;
    // инструмент реагирует на выбор так, как описано в методе
registerToolEvents хоста
    this.host.registerToolEvents(this, link);
    return container;
  },
});

```

Как видите, данный класс содержит поле *options*, в котором заданы методы, требующие реализации в дочерних инструментах. Эти методы вызываются в событиях карты или в событиях элементов карты, а также могут вызываться – при необходимости – *Менеджером карты*. В событиях они вызываются для текущего инструмента. Менеджер карты может самостоятельно определить тот инструмент, для которого следует вызвать требуемый метод.

Модуль Контроллера потока расчетов (CalcGridWorker) реализует логику, позволяющую выполнять длительную операцию в отдельном потоке без блокировки основного окна браузера. Данный модуль передается в качестве параметра для класса Worker, используемого для запуска длительного процесса расчета в соответствующем методе *Менеджера карты*.

Модуль алгоритма расчета загрязнений (EMISSION_CALC_MODEL) изолирован в отдельном модуле, позволяющем обеспечить удобство и гибкость его использования в процессе расчета в *Менеджере карты*. Данный модуль содержит методы для задания параметров расчета, запуска остановки и сброса процесса расчета.

Процесс расчета представляет собой цикл по всем временным отрезкам заданного интервала расчета. На каждом отрезке для каждого узла рассчитываются параметры диффузии для значения загрязнения в текущем узле, в соответствии с рассчитанными значениями выполняется перенос определенной части загрязнений в соседние ячейки, затем значение загрязнения увеличивается на размер эмиссии в текущей ячейке.

Общая картина процесса работы разработанной информационной системы представлена на схеме рисунки 3.9.

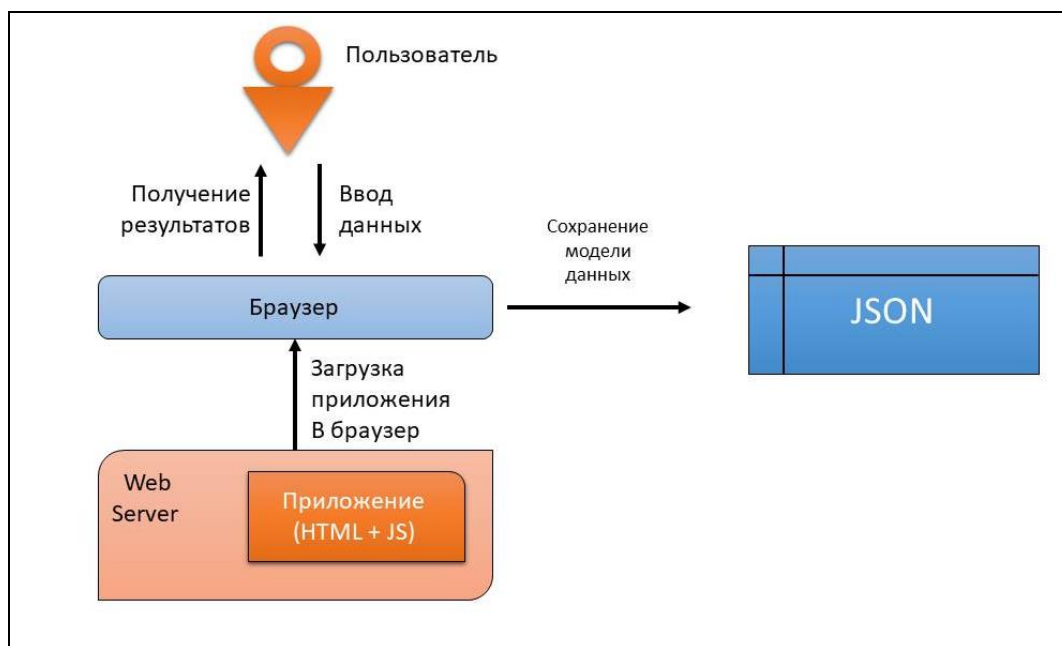


Рисунок 3.9 - Архитектура информационной системы

На рисунке 3.10 представлена структура информационной системы, включающий в себя mini веб сервер с файловой базой данных, который обеспечивает взаимодействие пользователя и администратора через браузер с помощью Интернета.

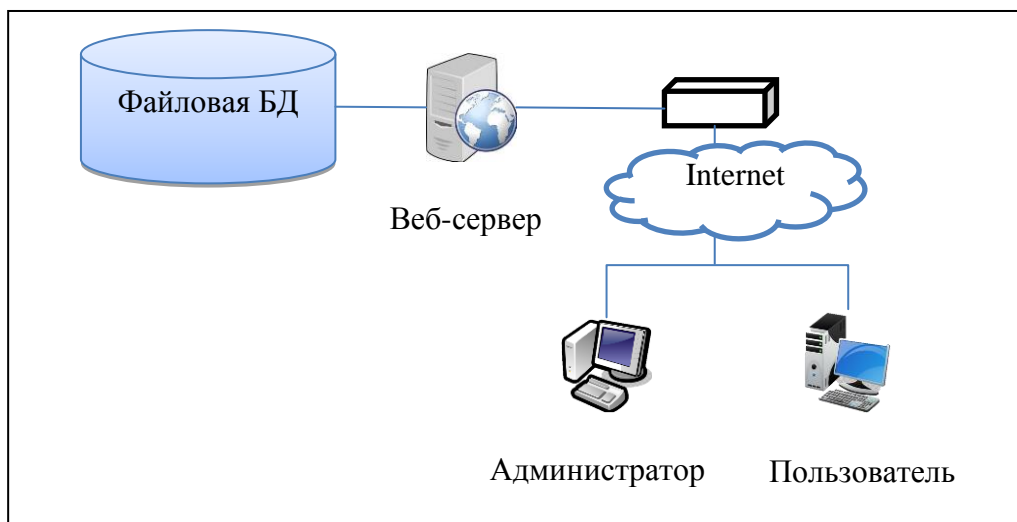


Рисунок 3.10 - Структура информационной системы

На рисунке 3.11 представлена схема взаимодействия между js-модулями разработанной информационной системы.

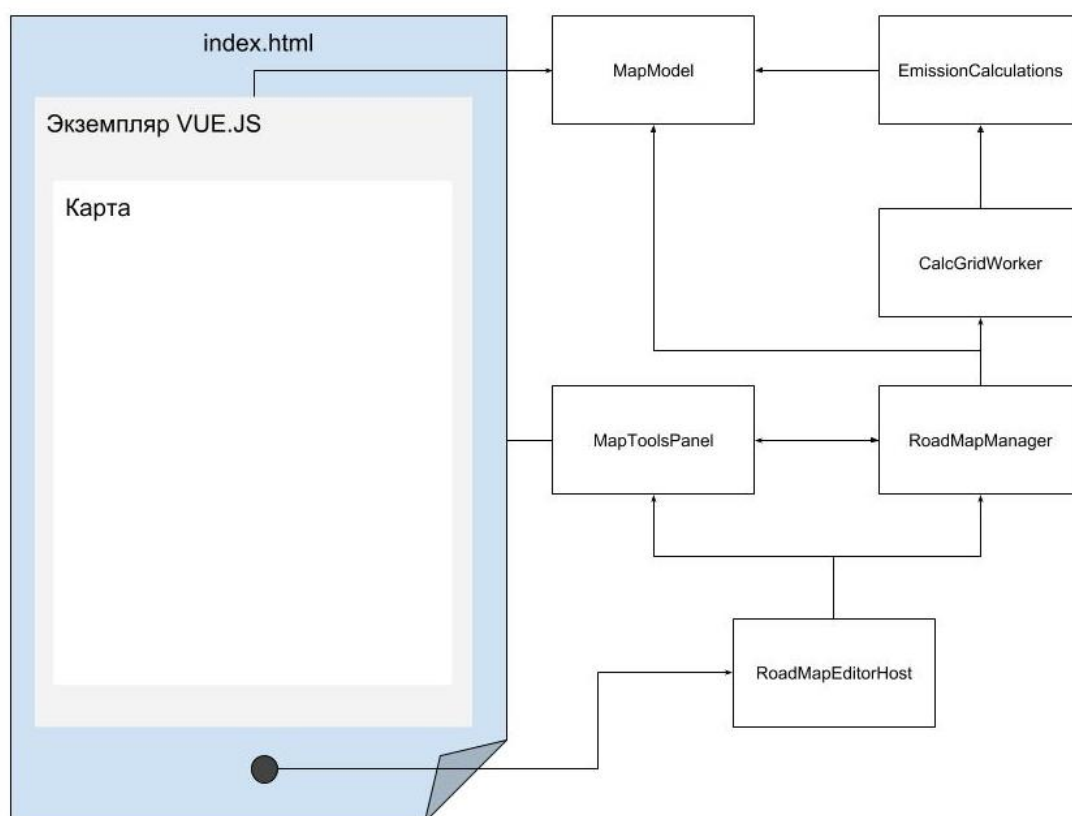


Рисунок 3.11 - Схема взаимоотношения модулей приложения

Исследование расчета диффузий для ячеек сетки представлено на схеме рисунка 3.12.

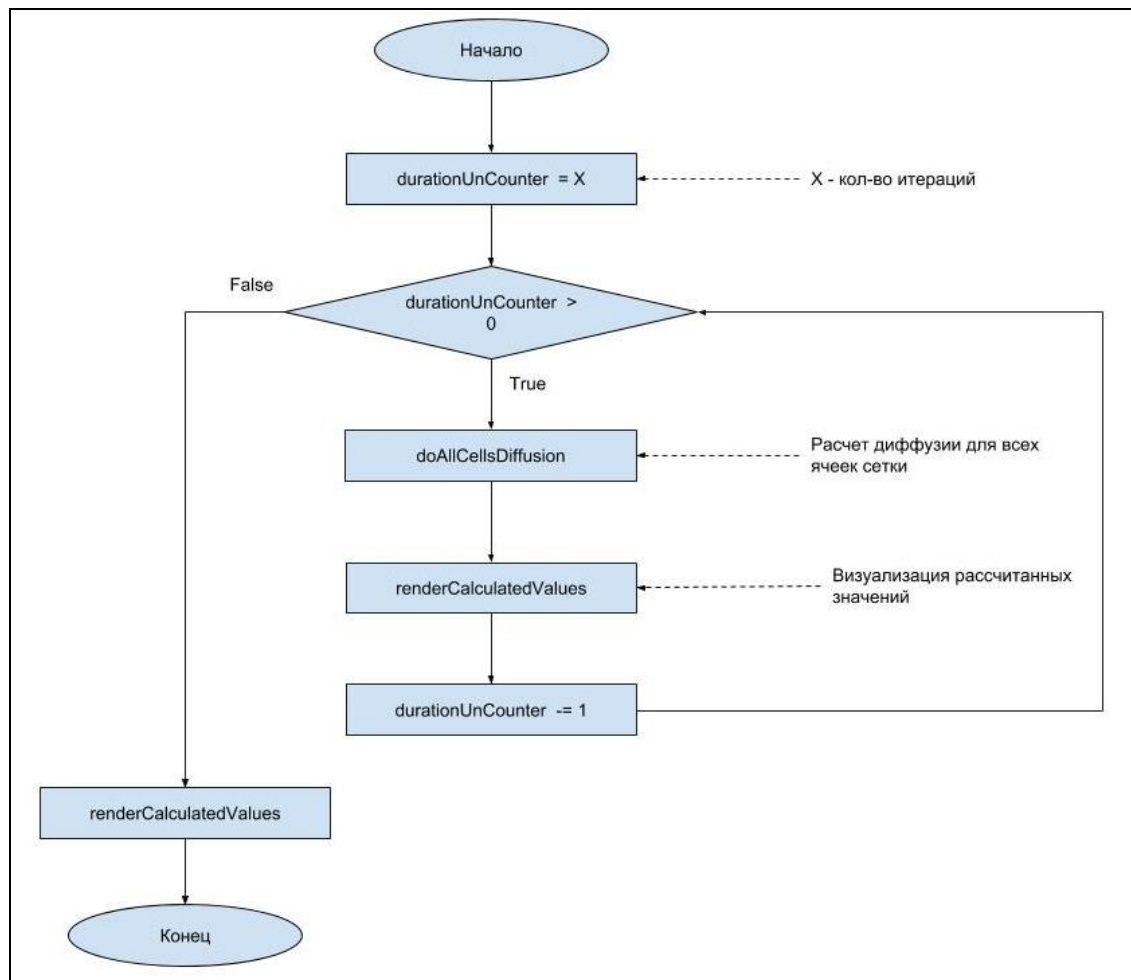


Рисунок 3.12 - Схема расчета диффузий для ячеек сетки информационной системы

В разработанной информационной системе моделирования процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе города реализован алгоритм расчета эмиссии и переноса для одной итерации для ячеек сетки (рисунок 3.13).

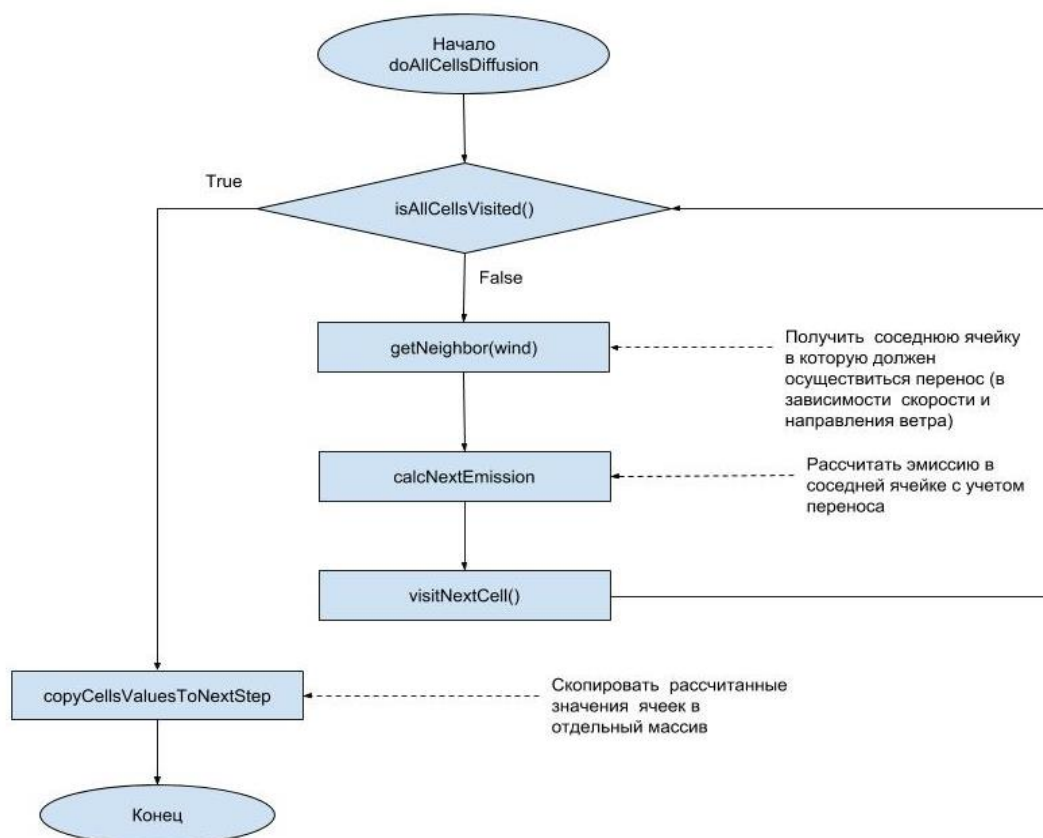



Рисунок 3.13 - Схема расчета эмиссии и переноса для одной итерации для ячеек сетки информационной системы

3.2.3 Описание пользовательского интерфейса системы

Основную часть рабочего пространства окна браузера занимает карта (рисунок 3.14). Сразу после запуска приложения карта имеет мировой масштаб, инструменты управления картой и рисованием отключены. Панель инструментов невидима, прокрутка и масштабирование так же отключены. Для того чтобы начать работу с картой требуется создать новый проект или открыть существующий при помощи панели управления проектом, расположенной в нижней правой части рабочей области (рисунок 3.15).

Управление слоями с подложкой. В левой верхней части рабочей области расположена кнопка . При наведении курсора на эту кнопку появляется всплывающее меню со списком радиокнопок для выбора доступных слоев подложки. Различные слои обладают различными цветовыми схемами и могут быть выбраны пользователем в зависимости от его предпочтений.

Опишем процесс использования панели управления проектом.

В нижней части рабочей области справа располагается панель управления проектом. На данной панели расположены кнопки: «Создать», «Загрузить», «Сохранить», «Настройки» и «Консоль».

При нажатии на кнопку «Создать» создается новый проект или пересоздается существующий, если в момент нажатия он был загружен.

При нажатии на кнопку «Загрузить» появляется диалоговое окно выбора ранее сохраненного файла с проектом.

Нажатие на кнопку «Сохранить» приведет к сохранению текущего проекта в отдельный файл. Сохранение на диск будет произведено способом, зависящим от того браузера, в котором будет выполняться процедура сохранения.

Кнопка «Настройки» вызывает окно управления аргументами алгоритма, относящихся к уровню всего города.

Кнопка «Консоль» позволяет скрыть и показать панель контроля доменной модели проекта. Данная панель располагается слева и отображает текущее состояние проекта в json-виде.

Информационная система позволяет выбирать инструменты управления параметрами. Инструменты управления параметрами модели располагаются на панели инструментов в правой части рабочей области карты. При наведении и выборе инструмента иконка соответствующего инструмента увеличивается, сигнализируя о смене текущего инструмента. Повторное нажатие по иконке активного инструмента возвращает его в неактивное состояние. При наведении курсора на иконку инструмента появляется всплывающая подсказка с наименованием этого инструмента.

Почти все инструменты, кроме инструмента «Расчет загрязнений» работают с картой или нарисованными на ней элементами. Существует два типа элементов – «Перекрестки» и «Дороги», которые соответствуют узлам и ребрам дорожного графа.

Элемент, к которому будет применен текущий инструмент, определяется при помощи курсора мыши. Для работы с узлами требуется указать курсором непосредственно тот узел, к которому должен быть применен инструмент. Для работы с узлом достаточно кликнуть по карте недалеко от ребра. Если в районе клика будет находиться несколько ребер, то инструмент будет применен к самому близкому из них.

В разработанной информационной системе предусмотрен ряд функций, реализованных через дополнительные инструменты:

1) «Настройки» - данный инструмент вызывает диалоговое окно управления параметрами элемента, соответствующего типу этого элемента

(рисунки 3.16 - 3.20). Окно параметров Перекрестка содержит идентификатор перекрестка и поле управления радиусом этого перекрестка. Окно параметров Дороги содержит идентификатор Дороги, поле управления количеством полос, длину перегона, интервалы работы светофора и параметры интенсивности движения за сутки.

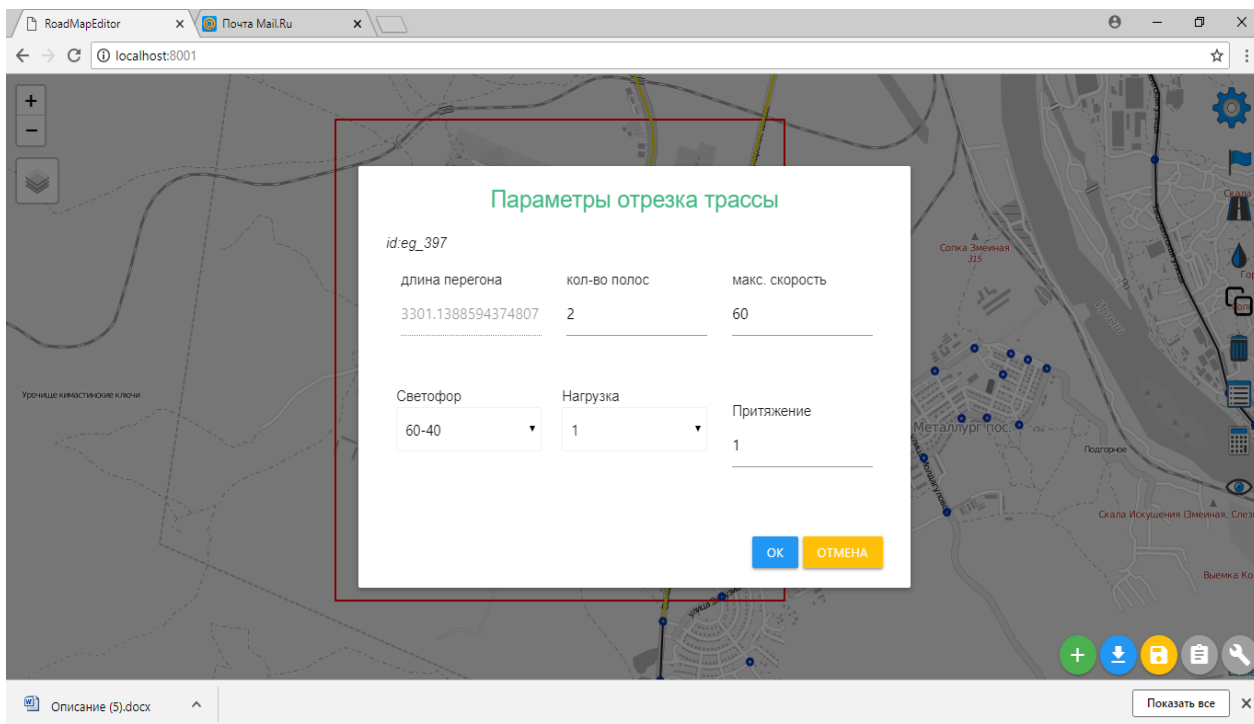


Рисунок 3.16 – Применение инструмента «Настройки» для введения параметров отрезка дороги для города Усть-Каменогорска

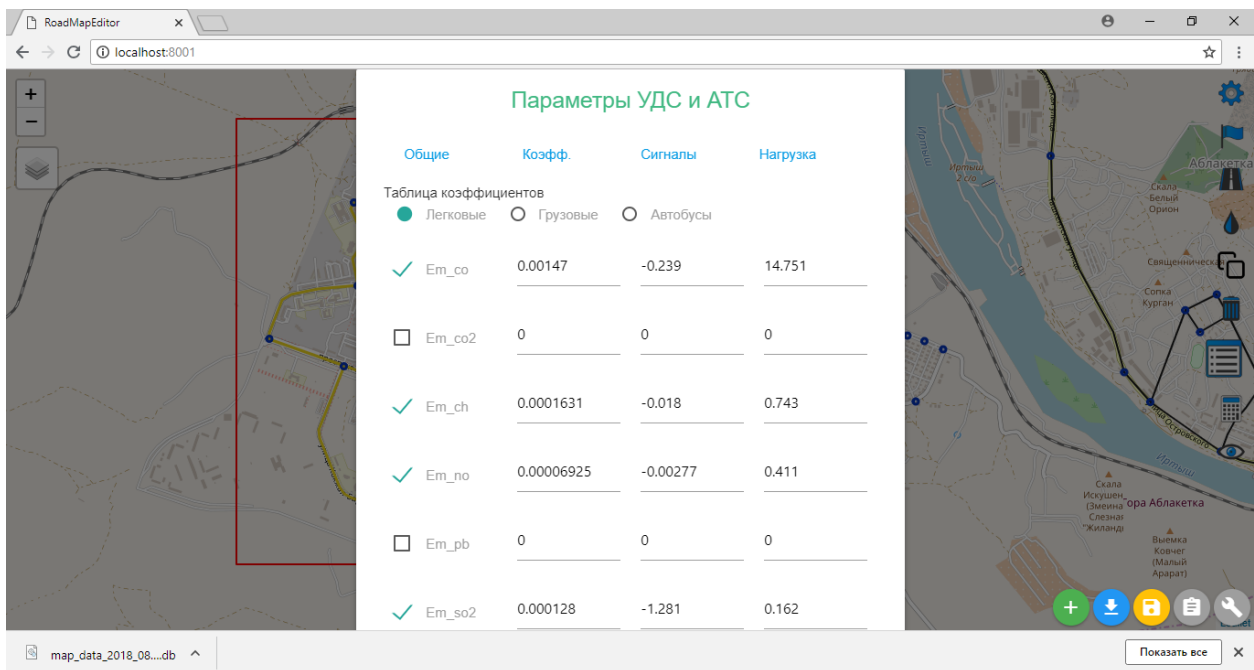


Рисунок 3.17 - Применение инструмента «Настройки» для введения коэффициентов ЗВ для города Усть-Каменогорска

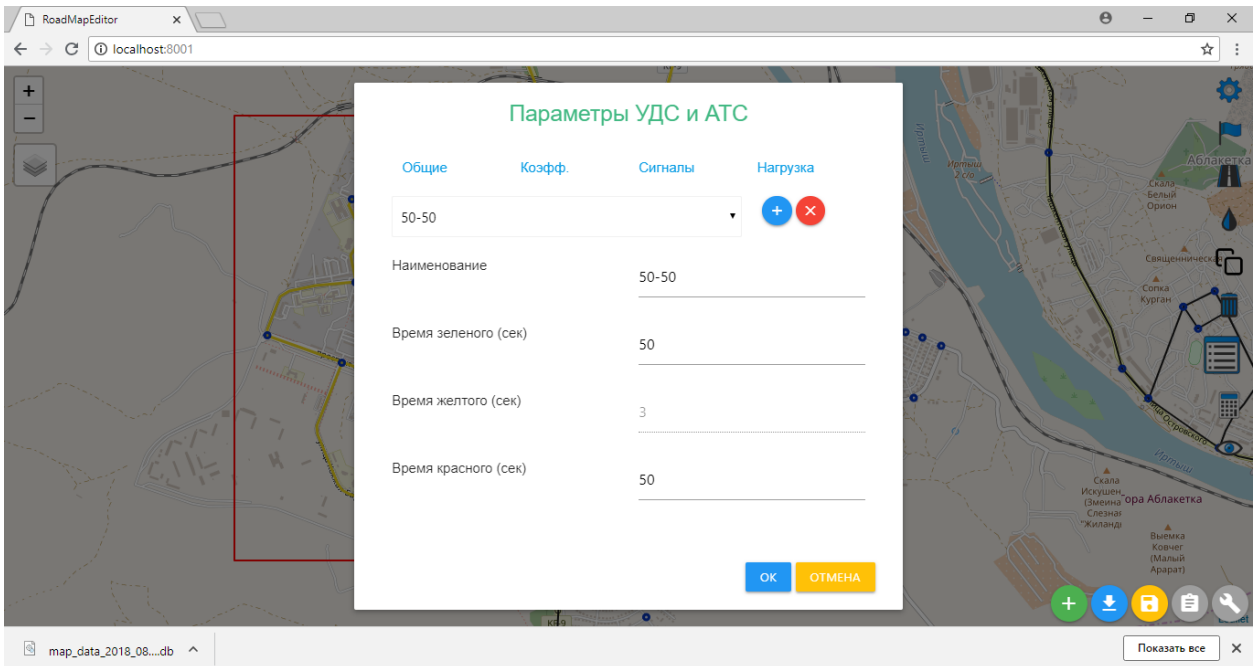


Рисунок 3.18 - Применение инструмента «Настройки» для введения параметров сигнала для города Усть-Каменогорска

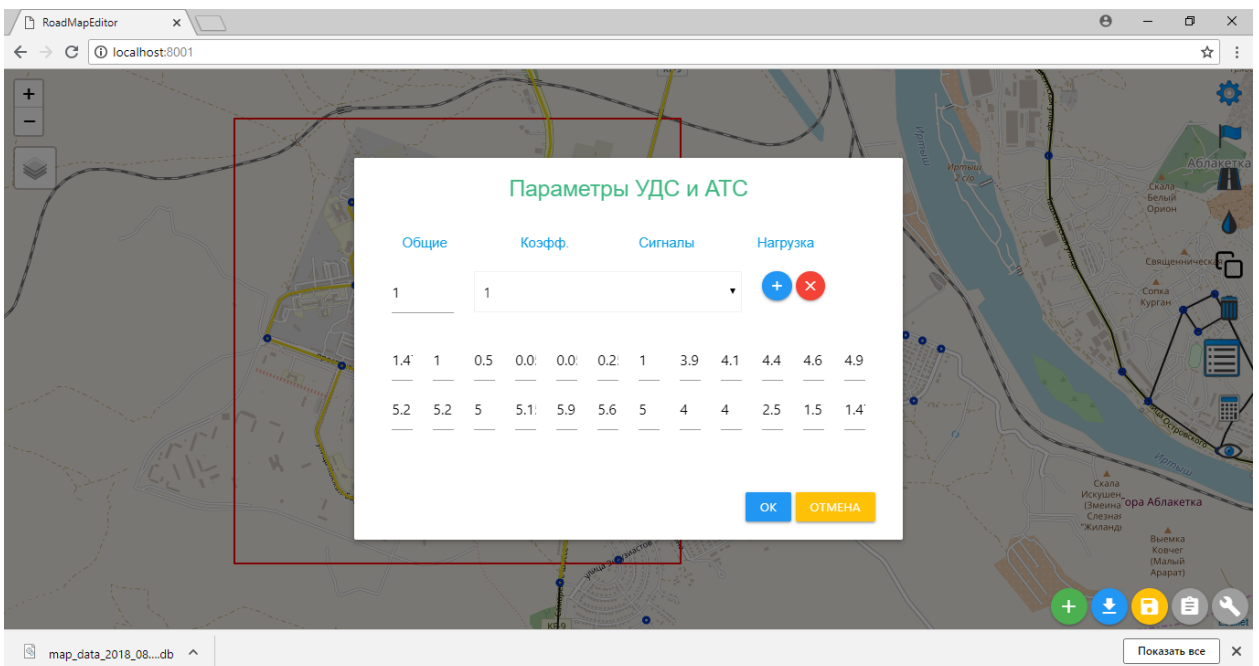


Рисунок 3.19 - Применение инструмента «Настройки» для введения параметров нагрузки для города Усть-Каменогорска

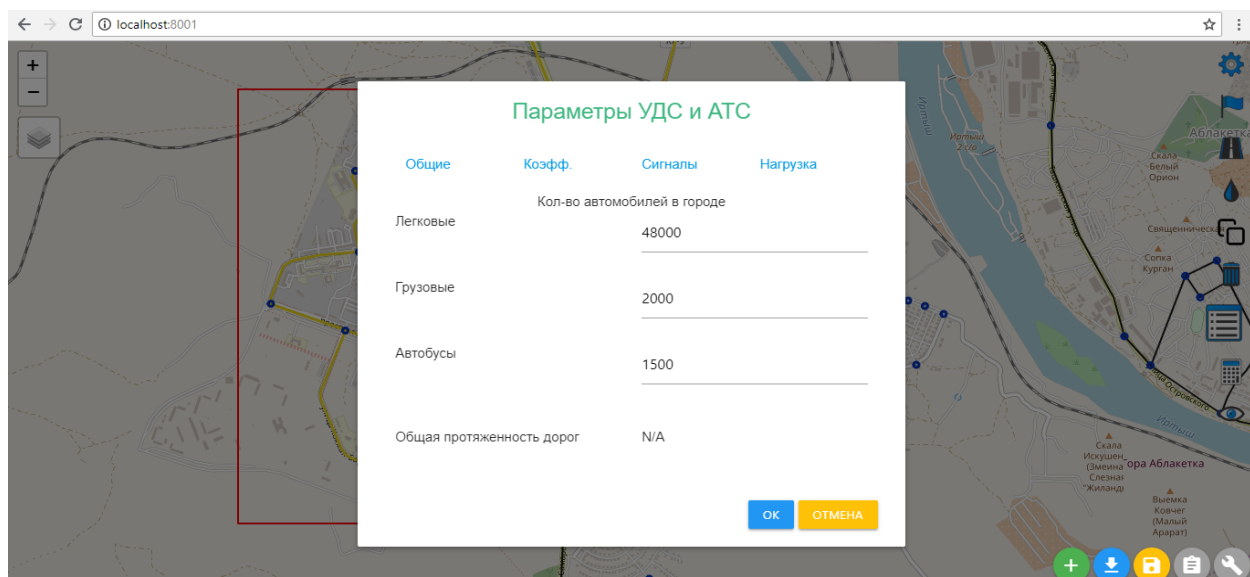


Рисунок 3.20 - Применение инструмента «Настройки» для введения количество АТС города Усть-Каменогорска

2) «Перекрестки» - данный инструмент позволяет создавать и редактировать перекрестки (рисунок 3.21). Для создания нового перекрестка необходимо выбрать данный инструмент и кликнуть левой кнопкой мыши в том месте на карте, где должен быть расположен этот перекресток. Для редактирования перекрестка необходимо выполнить двойной клик левой кнопкой мыши по этому перекрестку, в результате чего появятся управляющие маркеры. Перемещение маркера в центре перекрестка приведет к его перемещению на карте. Сдвиг маркера, находящегося на границе перекрестка, изменит текущий радиус этого перекрестка. Для того, чтобы снять режим редактирования перекрестка, необходимо кликнуть мышью в свободное место на карте.

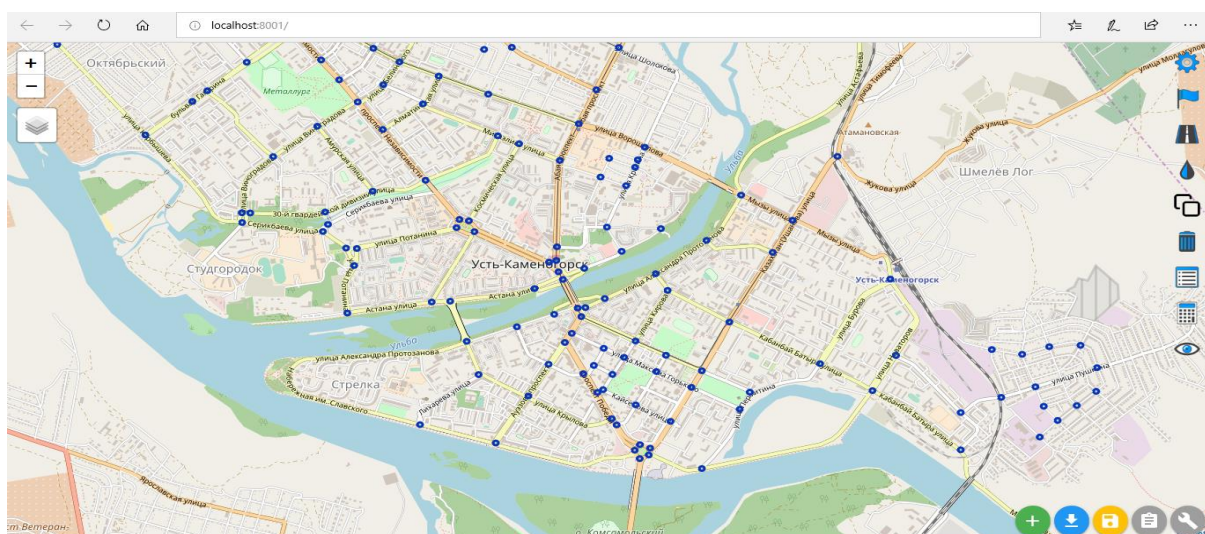


Рисунок 3.21 - Применение инструмента «Перекрестки» для города Усть-Каменогорска

3) Инструмент «Дороги». Для того, чтобы создать участок дороги между двумя перекрестками, необходимо выбрать данный инструмент и кликнуть левой кнопкой мыши по перекрестку, в результате чего данный перекресток станет активным и выделится бардовым цветом (рисунок 3.22). Для завершения рисования отрезка дороги следует кликнуть по второму перекрестку. В результате этого будет нарисован соответствующий отрезок дороги, а конечный перекресток станет активным, что позволит продолжить рисование нового отрезка из текущего перекрестка. Для отмены рисования необходимо кликнуть мышкой в свободном месте карты. Для редактирования отрезка дороги необходимо кликнуть левой кнопкой мыши по ребру или по карте рядом с ребром, в результате чего оно перейдет в режим редактирования и на ребре появятся маркеры, позволяющие управлять сегментами отрезка. Для добавления сегмента надо переместить маркер, находящийся в середине требуемого сегмента. Для удаления сегмента необходимо кликнуть по угловому маркеру, в результате чего два прилежащих к нему сегмента объединятся в один. Перемещение концевых участков дороги происходит при перемещении перекрестка, которому принадлежат эти участки. Для того, чтобы отменить режим редактирования, необходимо кликнуть на свободный участок карты.

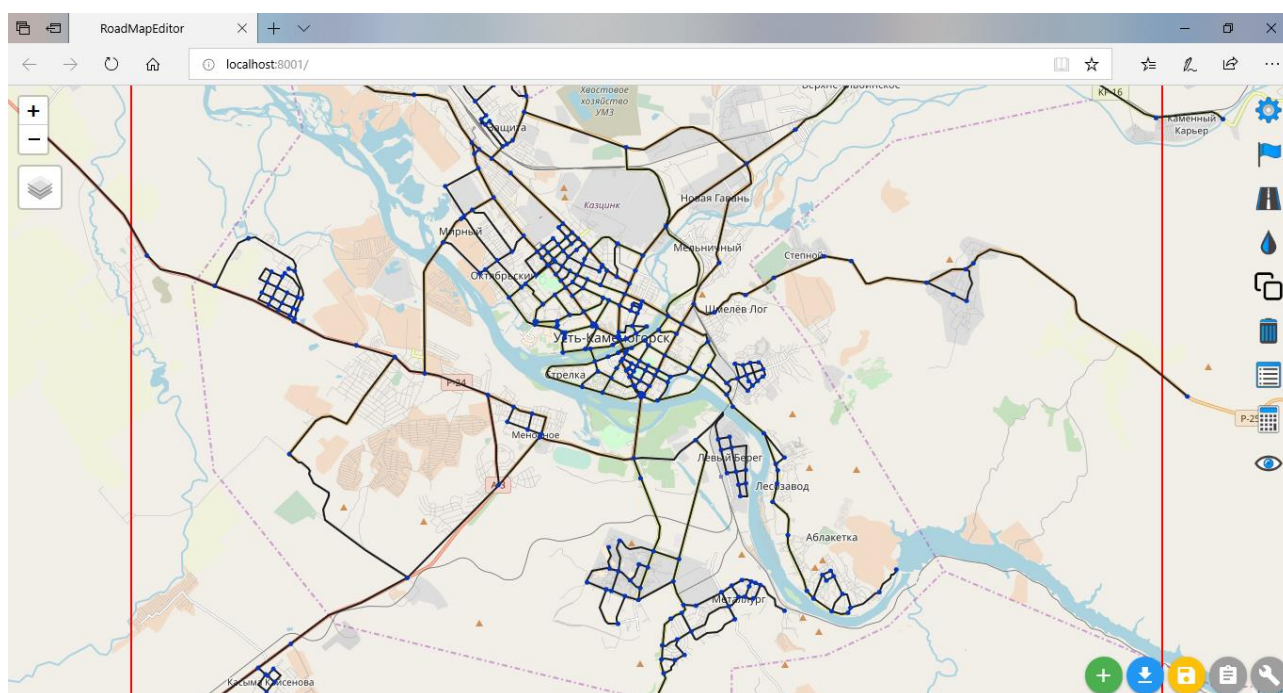


Рисунок 3.22 - Применение инструмента «Дороги», выделение цветом для города Усть-Каменогорска

4) Инструмент «Копирование стилей» позволяет скопировать параметры одного отрезка дороги в другой (рисунок 3.23).

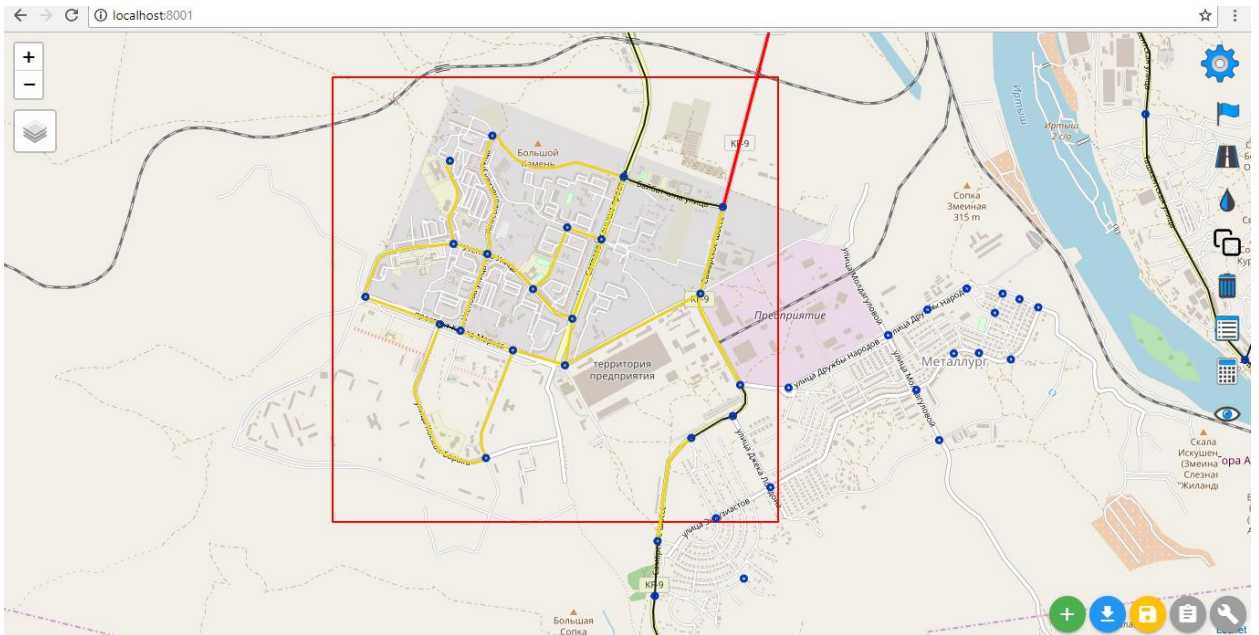


Рисунок 3.23 - Применение инструмента «Копирование стилей» для города Усть-Каменогорска

Для этого необходимо выбрать при помощи левой кнопки мыши данный инструмент, затем выбрать отрезок, являющийся источником, затем выбрать отрезок, которому надо назначить скопированный стиль. Активный перекресток выделяется бардовым цветом. Перекресток, у которого нет отредактированных параметров, рисуется черным цветом. Перекресток, у которого параметры были отредактированы, будет нарисован желтым цветом (рисунок 3.24).

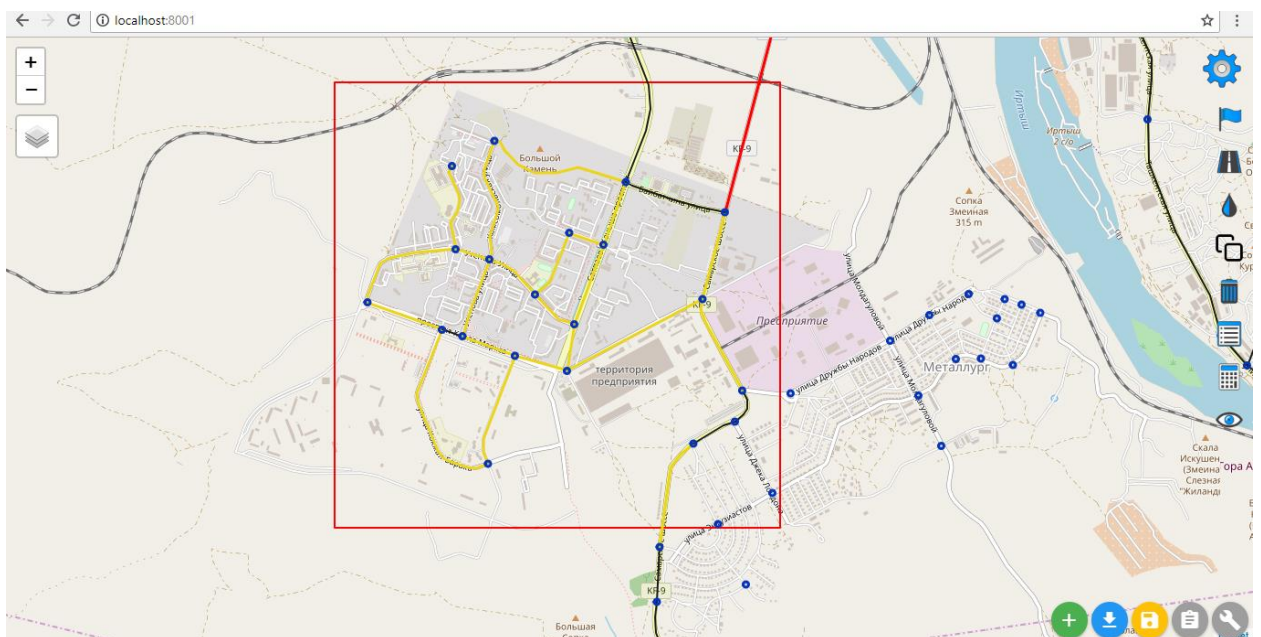


Рисунок 3.24 - Рисование перекрестка желтым цветом инструмента «Копирование стилей» для города Усть-Каменогорска

5) Инструмент «Удаление» позволяет удалять перекрестки и отрезки дорог. Для удаления отрезка дороги необходимо выбрать данный инструмент, затем кликнуть по ребру необходимого отрезка дороги или рядом с ним. В результате выбранное ребро будет удалено. Для удаления перекрестка необходимо кликнуть непосредственно в требуемый перекресток. В результате будет удален как сам перекресток, соответствующий выбранному узлу, так и все смежные с ним ребра. Также данный инструмент приведёт к удалению расчетной сетки при двойном клике по ней.

б) Инструмент «Расчетная сетка». Данный инструмент применяется для выбора области, где будут производиться вычисления. Для выбора рабочей области необходимо активировать данный инструмент и, нажав левую кнопку мыши, протянуть его по карте. В результате появится прямоугольник по размерам соответствующей области расчета (рисунок 3.25). Двойной клик по данному прямоугольнику вызовет диалоговое окно управления параметрами расчетной сетки, такими как ширина, длина, шаг сетки, а так же направление и скорость ветра (рисунок 3.26). Также, данное диалоговое окно содержит переключатель видимости загрязнений. Данный переключатель позволяет настраивать отображение видимости загрязнений. Изменения настроек данного диалогового окна вступают в силу после нажатия кнопки «ОК» в нижней части окна.

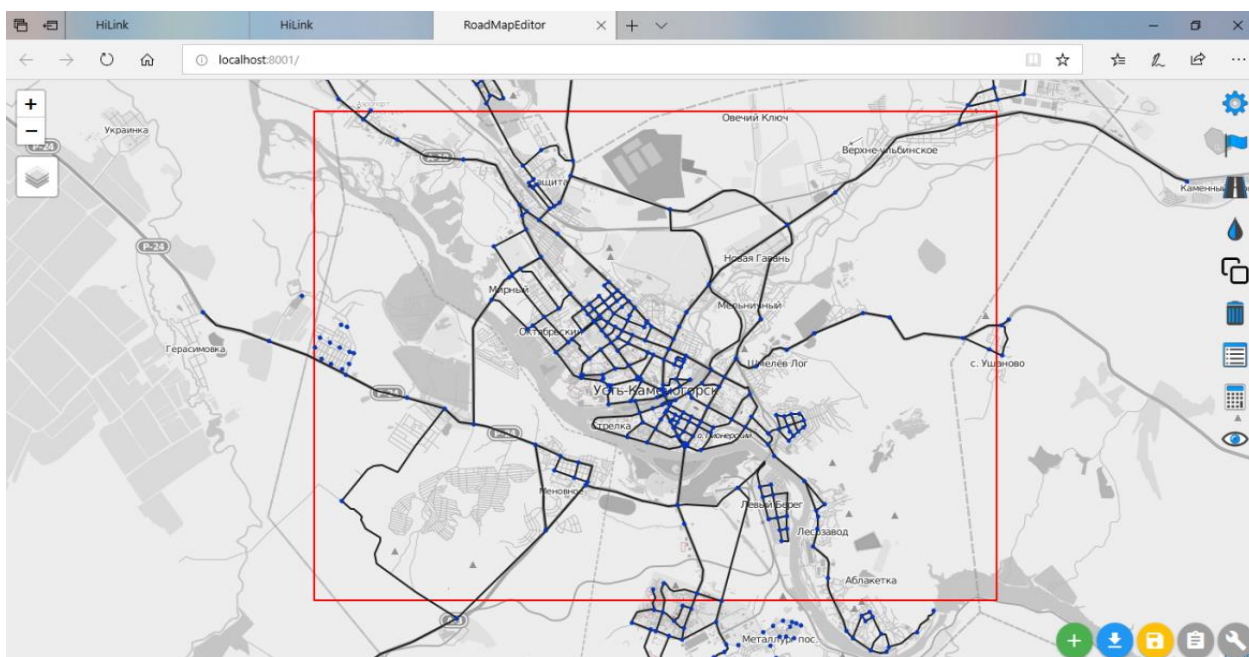


Рисунок 3.25 - Выбор области вычислений инструментом «Расчетная сетка» для города Усть-Каменогорска

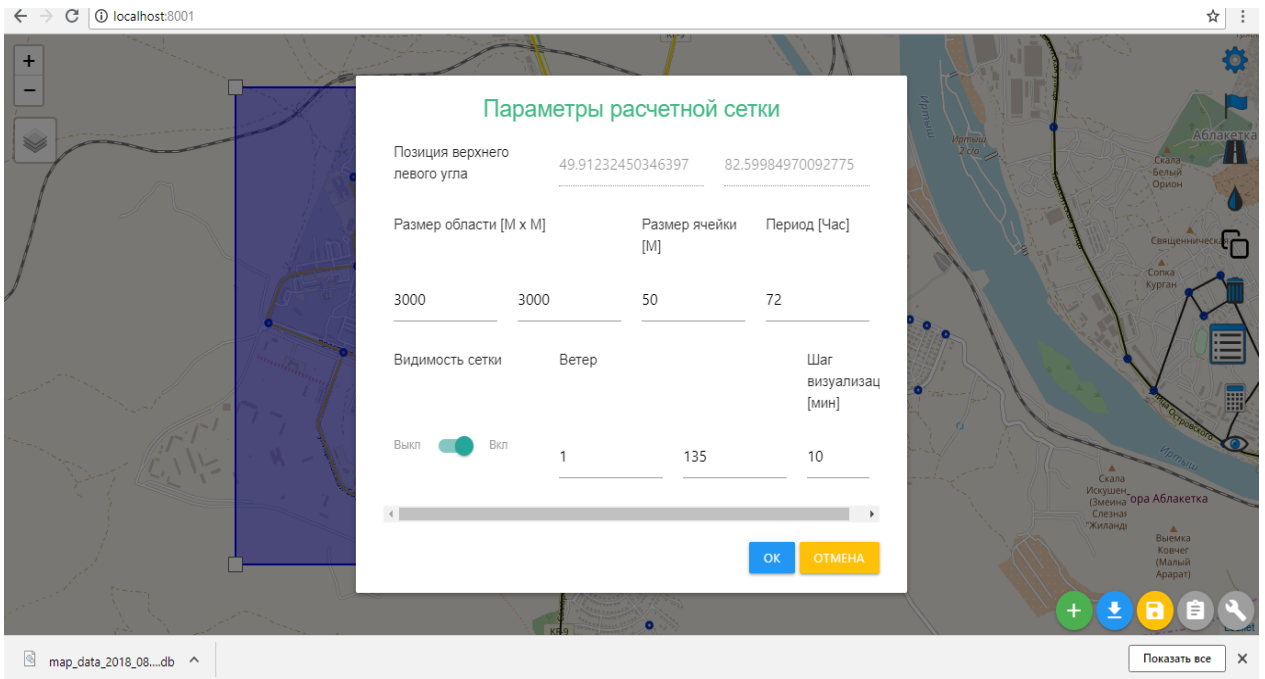


Рисунок 3.26 - Диалоговое окно управления параметрами расчетной сетки для города Усть-Каменогорска

7) Инструмент «Расчет загрязнений». Для запуска процесса расчета загрязнений необходимо включить видимость источников загрязнений при помощи диалогового окна инструмента «Расчетная сетка», после чего выбрать данный инструмент, в результате чего начнется процесс расчета загрязнений (рисунок 3.27). Прервать процесс расчета можно повторным нажатием на данный инструмент. После завершения расчета появится соответствующее уведомление в середине рабочей области окна.



Рисунок 3.27 - Запуск процесса расчета инструментом «Расчет загрязнений» для города Усть-Каменогорска

8) Активация инструмента «Отображение загрязнений» приведет к отображению рядом с курсором подсказки, содержащей значение загрязнения в том месте расчетной области, на которую указывает курсор мыши (рисунок 3.28). После деактивации инструмента эта подсказка не будет отображаться. Точность интерполяции значений загрязнения между ячейками расчетной сетки зависит от текущего масштаба карты. Это связано с фиксированным размером маркера тепловой карты, заданным в пикселях.

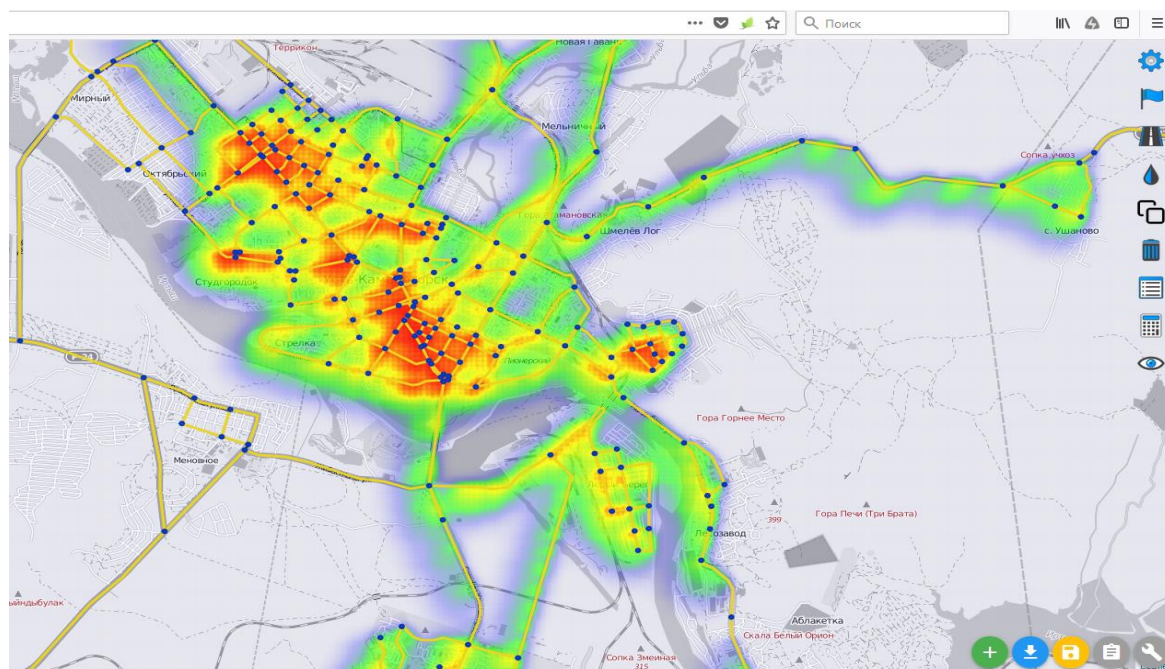


Рисунок 3.28 - Индикатор, содержащий значение загрязнения при работе инструмента «Отображение загрязнений» для города Усть-Каменогорска

Таким образом, на рисунках проиллюстрирована зависимость визуализации процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан на базе разработанных алгоритмов. В предложенном подходе практически весь мониторинг процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе состоит из поэтапного преобразования шага сетки вероятностно-статистической модели с целью повышения эффективности применительно к поставленной задаче.

Созданная новая компьютерная технология позволяет на карте территории города отобразить графически уровень загрязнений в приземном слое атмосферы города, моделировать выбросы при различных вариантах организации дорожного движения, оценить степень экологического конфликта каждого из вариантов. Результаты мониторинга могут быть использованы при разработке маршрутов и графиков движения общественного транспорта с соблюдением санитарных норм загрязнения [130].

3.3 Краткие выводы

Экологический мониторинг осуществляется с помощью информационной системы. Рассмотренные программные реализации математических моделей экологического мониторинга учитывают различные факторы.

Модель рассеяния газов реализована в методике Всемирного банка, методике класса HGSYSTEM, методиках, созданных такими организациями как TNO (Голландия), Det Norske Veritas (DNV Technica) (Норвегия), U.S. Environmental Protection Agency (EPA – агентство защиты окружающей среды США), NIST (Национальный институт стандартов и технологий США), методике класса DEGADIS. Все разработанные методики реализуются в виде определенных программных продуктов. Нами рассмотрены программы, используемые в США, Канаде, ЕС и других странах: AERMOD, CALPUFF, CALINE3, OCD, ECOSIM и MAQSIP, CFD.

В результате сравнительного анализа информационных систем мониторинга загрязнённости воздушного бассейна было определено, что прототипом авторской программной разработки может быть система организации Air Quality Index China.

Используя алгоритм численного моделирования процесса переноса вредных веществ в атмосфере по вероятностно-статистическому методу, была составлена система, согласно которой проводились многочисленные расчеты. Для расчета распространения выбросов вредных веществ создана математическая модель, которая использует данные УДС и АТС города Усть-Каменогорска. Оценка загрязнения, оказываемого транспортом города, визуализирована путем показа процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе города на базе разработанных алгоритмов.

Рассмотренная выше методика позволяет анализировать распределение концентраций вредных веществ. По ее результатам анализа распределения приземных концентраций вредных веществ, проводимых нами с помощью программы составленной на базе турбулентной математической модели по городу Усть-Каменогорску, можно проследить взаимосвязь CO и NO с транспортной загрузкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом работы над данной диссертацией стали:

- разработка методов и алгоритмов расчета количества, загрязняющих веществ от валового выброса автотранспорта;
- разработка вероятностно-статистической модели переноса вредных примесей в атмосфере от автотранспортных средств;
- разработана информационная система, которая позволяет произвести подсчет количества выбросов вредных веществ в атмосферу от транспортного потока с учетом интенсивности и состава транспортных средств; отображать значения концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы на карте города при различных вариантах организации дорожного движения.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при исследовании загрязненности атмосферы города Усть-Каменогорска, а также для улучшения мониторинга и исследования уровня загрязнения воздушного бассейна в других городах Казахстана.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы внедрены в филиале РГП на ПХВ «Казгидромет» по Восточно-Казахстанской области. Акт внедрения отражен в приложении к диссертации (Приложение А).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ландау Л.Д. Лившиц Е.М. Механика сплошных сред. – М.: Гостехиздат, 1953. - 273 с.
- 2 Кибель И.А. Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды. - М.: Гостехиздат, 1957. - 357 с.
- 3 Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов. - Л.: Гидрометеоздат, 1968. - 367 с.
- 4 Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, 1982. - 319 с.
- 5 Марчук Г.И. Кондратьев К.Я. Козодеров В.В. Хворостянов В.И. Облака и климат. - Л.: Гидрометеоздат, 1986. - 512 с.
- 6 Пененко В.В. Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука, 1985. - 254 с.
7. Пененко В.В. Алоян А.Е. Численный метод расчета полей метеорологических элементов пограничного слоя атмосферы // Метеорология и гидрология. – 1976.- № 6. - С. 11-25.
- 8 Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеоздат, 1980.-576 с.
- 9 Матвеев Л.Т. Динамика облаков. - Л.: Гидрометеоздат, 1981. - 311 с.
- 10 Pielke R.A. Numerical Meteorological modeling. – New York: Academic press, 1984.- 211 p.
- 11 Смагулов Ш.С., Данаев Н.Т., Темирбеков Н.М. Численное решение уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости в каналах с пористой вставкой // ПМиТФ. – Новосибирск. - 1995. – Т. 36, № 5. – С. 231-242.
- 12 Смагулов Ш.С., Данаев Н.Т., Темирбеков Н.М. Моделирование краевых условий для давления и полного напора в задачах гидродинамики с помощью метода фиктивных областей // ДАН России. –М.: -2000. – Т. 374, № 5. – С. 333-335.
- 13 Smagulov Sh., Gumagulov V.T., Danaev N.T., Temirbekov N.M. Numerical methods of solution of Navier-Stokes equation in intricate regions // III international seminar of flame structure. Alma-Ata, 1990.- P. 8-18.
- 14 Данаев Н.Т., Темирбеков Н.М., Смагулов Ш.С., Жумагулов Б.Т. О некоторых численных методах решения уравнений Навье-Стокса // Численные методы механики сплошной среды: тезисы докладов Школы молодых ученых. – Красноярск, 1989. – С. 104-105.
- 15 Gal_Chen T., Somerville C.J. On the use of a coordinate transformation for the solution of the Navier-Stokes equations // J. Comp. Phys. – 1985. - v. 17, N 2.- P. 209-228.
- 16 Захарова И.М. Численное моделирование процесса образования и развития радиационного тумана // Труды ИЭМ. Вып. 9 (52). - 1975. - С. 181-193.
- 17 Захарова И.М. Математическая модель эволюции радиационного тумана // Труды ИЭМ. Вып. 23.- 1971.- С. 157-175.

- 18 Хворостьянов В.И. Двумерная нестационарная микрофизическая модель низких облаков и адвективно-радиационных туманов // Метеорология и гидрология.- 1985.- №7. - С. 16-27.
- 19 Хворостьянов В.И. Трехмерная численная модель кристаллизации облака при заседе твердой углекислотой // Метеорология и гидрология.- 1987.- №4.-С. 29-37.
- 20 Orville H.D., Eckhoff P.A., Peak J.E., Hirsch J.H. Numerical simulation of the effects of cooling tower complexes on clouds and severe storms // J. Atmos. environment, 1981.- V.15, №5. - P. 823-836.
- 21 Коган Е.Л. Мазин И.П. Сергеев Б.Н. Хворостьянов В.И. Численное моделирование облаков. - М.: Гидрометеиздат.- 1984.- С. 478 с.
- 22 Матвеев Л.Т., Солдетенко С.А. К теории образования и прогноза туманов испарения // Метеорология и гидрология.- 1977.-№ 2. - С. 24-31.
- 23 Алюян А.Е. Исаев Г.И. Численный эксперимент по моделированию возникновения туманов и облачности в пограничном слое атмосферы // В кн.: Методы математического моделирования в гидродинамических задачах окружающей среды. - Новосибирск: Наука, 1983. - С. 4-20.
- 24 Хворостьянов В.И. Моделирование эволюции морских туманов испарения и воздействий на них // Метеорология и гидрология. – 1983.- № 12.- С. 44-52.
- 25 Хворостьянов В.И. Моделирование возмущений микроклимата от водоемов-охладителей АЭС, ТЭС, бьефов ГЭС и искусственного рассеяния туманов // Метеорология и гидрология. – 1991. - № 11. - С. 27-35.
- 26 Хворостьянов В.И. Оценка эффекта воздействия пленками поверхностно-активных веществ на туманы испарения, выполненная с помощью двумерной нестационарной микрофизической численной модели // Труды ЦАО. – 1982. - Вып. 156. - С. 102 -119.
- 27 Hiroyki O., Tsutomu Numerical calculation of three-dimensional model of land and Sea breezing in the case of constant eddy diffusivity // Proc. 3. Pacif. Chem. Eng. Congz. – 1989. - V. 4. - P. 401-406.
- 28 Yamada T. On the similarity functions A, B and C of the planetary – boundary layer // J. Atmos. Sci. – 1976. - V. 33, № 5.- P. 781-793.
- 29 Tapp M.C., White P.W. A non – Hydrostatic mesoscale model // Quart Y.Roy. Meteorol. Soc.- 1976. – V.102, № 432. - p. 12-18.
- 30 Carpenter K.M. An experimental forecast using an a non – hydrostatic mesoscale model // Quart Y.Roy. Meteorol. Soc. - 1976. - V.102, № 432. - p. 26-32.
- 31 Бызова Н.Л. Рассеяние примеси в пограничном слое атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 197 с.
- 32 Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы - Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 448 с.
- 33 Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / под ред. Ф.Т.М. Ньистадта и Х. Ван Допа. –Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 350 с.

- 34 Yashimura T., Nishina K. Estimation of air pollutant concentration by the Galerkin finite element method // *Int. J. Syst. Sci.*- 1983.- №6 (14).- P. 661-672.
- 35 Пугачев И. Н. П 88 Организация и безопасность движения: учебное пособие / под редакцией Хабаровского государственного технического университета. – Хабаровск. - 2004. – 232 с.
- 36 Yamada T. Numerical Simulation of valley Ventilation and pollutant transport // *Preprints to seventh symposium on turbulence and diffusion.* – 1995.- №3.- P. 661-672.
- 37 Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. -Л.: Гидрометеоздат. - 1985. - 272 с.
- 38 Бакирбаев Б., Омарбеков Т.О., Дарменова А.Е. Численная модель пограничного слоя среды, предназначенная для локального рассеяния примесей. // *Механика и моделирование процессов технологии.* - 1994. - №2. - С. 132-139.
- 39 Кибель И.А. Метод решения задачи о локальных ветрах // *Доклады ЦИП.* – 1947. - Т. 1, вып. №1, №2.
- 40 Estoque M.A. The sea breeze as a function of the prevailing synoptic situation // *J.Atmos. Sci.* – 1962. - vol. 19, No 3.
- 41 McPherson R.D. A numerical study of the effect of a coastal irregularity on the sea breeze // *J. Appl. Meteorol.* – 1970. - vol. 9.
- 42 Neumann J., Mahrer Y. A theoretical study of the land and sea breeze circulation // *J. Atmos. Sci.* - 1971, vol. 28.
- 43 Chorin A.J. Numerical solution of the Navier-Stokes equation // *Math. Comput.* – 1968. - vol.22, No.104.
- 44 Patrinos A.A.N., Kistler A.L. A numerical study of the Chicago lake breeze // *Bound.-Layer Meteorol.* – 1977. - vol.12, No.1.
- 45 Быкова Л.П. Численное моделирование бризовой циркуляции над городом с учетом процессов в слое шероховатости. // *Метеорология и гидрология.* – 1983. - №12. - С. 36-43.
- 46 Марчук Г.И. Окружающая среда и некоторые проблемы оптимизации // *Докл. АН СССР.* - Т. 226, № 5. - С. 1056-1059.
- 47 Пененко В.В. Системная организация математических моделей для физики атмосферы, океана и охраны окружающей среды. Препринт № 69, ВЦ СО АН СССР. - 1985.
- 48 Пененко В.В. Методы численного моделирования атмосферных процессов. - Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 351 с.
- 49 Пененко В.В. Применение сопряженных уравнений и оптимизации в моделях гидротермодинамики атмосферы и океана // В кн.: *Проблемы изучения общей циркуляции атмосферы и климата.* - Л.: Гидрометеоздат, 1990. - С. 89-95.
- 50 Penenko V.V. Numerical modeling of model quality estimations and assimilation of observations // *Bull. Nov. Comp. Center, Num. Model. In Atmosph.* – 1993. - v. 1. - P. 69-90.

- 51 Алоян А.Е. Численная модель переноса примеси в пограничном слое атмосферы. Препринт № 449. - Новосибирск: ВЦ СО АН СССР. - 1984. - 21 с.
- 52 Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорология и гидрология. – 2001. - № 5. - С. 5-21.
- 53 Каздаев Н.Х., Закарин Э.А. Организация информационной системы в составе ГИС // Известия МО и Н РК, НАН РК.- 2000.- №1. - С. 82-90.
- 54 Закарин Э.А., Миркаримова Б.М. Математическое моделирование загрязнения атмосферы города на основе геоинформационной системы // Известия РАН. Физика Атмосферы и Океана. – 2000. – Т.36, №3. - С. 366-375.
- 55 Закарин Э.А., Ахмеджанов А.Х., Каздаев Н.Х., Дедов Т.В., Бекмухамедов Б.Э. Космический мониторинг песчано-солевых бурь на осушенном дне Аральского моря // Современные проблемы геоэкологии: материалы международной научно-практической конференции. - Алматы, 2001. - С. 208-213.
- 56 Закарин Э.А., Крамар В.Ф. Программный комплекс моделирования случаев высокого загрязнения атмосферы города Алма-Аты // Метеорология и гидрология. – 1991. - №12. - С.11-19.
- 57 Н.М.Темирбеков, Ф.Н.Абдолдина Оценка загрязнения окружающей среды от автомобильного транспорта // Нефть и газ. – 2005. - №1 (25). - С. 69-74.
- 58 Сонькин Л.Р., Денисова Т.П. Метеорологические условия формирования периодов интенсивного загрязнения воздуха в городах // Тр. ГГО. – 1969. – Вып. 238. – С. 33–41.
- 59 Сонькин Л.Р. Некоторые возможности прогноза содержания примесей в городском воздухе // Тр. ГГО. – 1971. – Вып. 254. – С. 121–132.
- 60 Бакирбаев Б. Численные эксперименты по моделированию распространения примесей в пограничном слое атмосферы // Численные модели в задачах физики атмосферы и охраны окружающей среды. – 1987. – С. 72–80.
- 61 Вавилова Н.Г. Статистический анализ данных о загрязнении воздуха в городах с помощью естественных функций // Тр. ГГО. – 1969. – Вып. 238. – С. 27–32.
- 62 Shuhuan Xie. An application of pattern recognition in the study of atmospheric diffusion // Beijing daxue xuebao.=Acta sci. natur. univ. pekinensis. – 1994. – V. 30, № 1. – P. 30–39.
- 63 Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. - Л.: Гидрометеиздат. - 1991. – 295 с.
- 64 Матвеев Ю.Л. Функция и плотность распределения загрязняющих веществ и температуры воздуха // Оптика атмосферы и океана. – 1994. – Т. 7, № 2. – С. 244–249.
- 65 Zambakas J. D. Simultaneous interpretation of wind speed and direction to study air pollution from smoke, at the national observatory of Athens, Greece // Z. Meteorol. – 1982. – V. 32, № 6. – P. 369–371.

66 РНД 211.2.01.01-97. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Астана, 2004. – 123 с.

67 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат. - 1987. – 95 с.

68 Методика расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе от выбросов предприятий ОНД-90. – Астана, 2008. – 80 с.

69 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий [Текст] / Мин. природных ресурсов и охраны окружающей среды РК. – Введ. с Включен в Перечень действующих нормативных правовых актов Приказом МООС №61-П от 24.02.2004г. – Астана; Кокшетау: РГП "Информационно-аналитический центр ООС" МООС РК, 2004. – 11 с.

70 Аргучинцев В.К. О распределении газовых примесей Иркутского промузла // География и природные ресурсы. – 1992. – № 3. – С. 56–59.

71 Оке Т. Климаты пограничного слоя. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 359 с.

72 Zib P. Seasonal variability of the simple urban dispersion model // J. Air Pollut. Contr. Assoc. –1980. – V. 30, № 1. – P. 35–37.

73 Draxler R.R. An improved Gaussian model for long-term average air concentration estimates // Atmos. Environ. – 1980. – V. 14, № 5. – P. 597–601.

74 Сепеши Д. Метод определения средней концентрации примесей вблизи электростанций при помощи ЭВМ // Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 31–36.

75 Бородулин А.И. Моделирование турбулентной диффузии примесей при малых временах распространения // Изв. АН: Физика атмосферы и океана. – 1993. – Т. 29, № 2. – С. 208–212.

76 Бородулин А.И. Статистическое описание распространения аэрозолей в атмосфере. – Новосибирск: НГУ, 1992. – 123 с.

77 Кудряшов Н. А. Статистическое моделирование скорости осаждения грубодисперсного аэрозоля в пограничном слое атмосферы // Метеорология и гидрология. – 1993. – № 9. – С. 35–41.

78 Налбандян О.Г. О переносе пассивной примеси в случайном поле скоростей // Изв. АН: Физика атмосферы и океана. – 1997. – Т. 33, № 2. – С. 195–201.

79 Кляцкин В.И. Диффузия пассивной оседающей примеси в изотропном случайном поле скоростей // Изв. АН: Физика атмосферы и океана. – 1997. – Т. 33, № 3. – С. 291–297.

80 Галкин Л.М. Решение диффузионных задач методом Монте-Карло. – М.: Наука, 1975. – 95 с.

81 Lamprecht R. Modelling of air pollution dispersion with a Monte-Carlo diffusion model // PSI Ber. – 1994. – №. 8. – P. 141–145.

82 Kaplan H. A three-dimensional model for calculating the concentration distribution in inhomogeneous turbulence // *Boundary-Layer Meteorol.* – 1993. – V. 62, № 1–4. – P. 217–245.

83 Монин А.С. Статистическая гидромеханика. Теория турбулентности. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 618 с.

84 Борисенко М.М. Зависимость вертикальных профилей скорости ветра от температурной стратификации // *Труды ГГО.* – 1966. – Вып. 200. – С.94–103.

85 Борисенко М.М., Заварина М.В. Вертикальные профили ветра по измерениям на высотных мачтах // *Труды ГГО.* – 1967. – Вып. 210. – С.43–51.

86 Бызова Н.Л., Шнайдман В.А., Бондаренко В.Н. Расчет вертикального профиля ветра в пограничном слое атмосферы по наземным данным // *Метеорология и гидрология.* – 1987. – № 11. – С.75–83.

87 Бакирбаев Б. Математическое моделирование процессов изменения климата под влиянием естественных и антропогенных факторов. - Алматы: Қазақ университеті, 2002. – 324 с.

88 Айдосов А.А. Уравнения, описывающие баланс влаги, приток тепла в атмосфере и связанные с ними соотношения // *Поиск.* – 1999. – № 4-5. – С.112-119.

89 Айдосов А. Прогнозирование распространения сероводорода при аварийных выбросах в атмосферу // *Гидрометеорология и экология.* – 2002. – №4. – С. 37-46.

90 Айдосов А. Моделирование распространения вредных выбросов в пограничном слое атмосферы нефтегазконденсатдобывающих регионов // *Гидрометеорология и экология.* – 2002, №2. - С.21-33.

91 Айдосов А.А. Математическое моделирование процесса распространения вредных примесей в атмосфере при переменном профиле скорости // *Новое в охране труда и окружающей среды: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф., г.Алматы.* - Алматы, 2000. – С. 232-275.

92 Рахметуллина С.Ж., Турганбаев Е.М., Куанышева А.Б. Численное решение задачи распространения примеси с учетом фотохимических превращений // *Вестник ВКГТУ.* – 2009. – № 3. – С. 160-166.

93 Рахметуллина С.Ж., Турганбаев Е.М., Саиров С.Б. Разработка информационной системы мониторинга атмосферных загрязнений // *Региональный вестник Востока.* – 2009. – № 4. – С. 42-48.

94 Мутанов Г.М., Рахметуллина С.Ж., Балова Т.Г. Продукционная модель выбора модели прогноза распространения загрязняющих веществ, с учетом сценария развития метеоусловий // *Вестник ВКГТУ.* – 2010. – № 2. – С. 102-107.

95 Sultangazin U.M., Zakarin E.A., Spivak L.F., Arkhipkin O.P., Muratova N.R., Terehov A.G. Monitoring of temperature anomalies in the former Semipalatinsk nuclear test site // *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série IIb, mécanique, physique, astronomie.* – 1998. – Vol. 326, № 2. – P. 135-140.

96 Султангазин У.М., Смелов В.В., Марек И., Акишев А.Ш. и др. Математические проблемы кинетической теории переноса. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 274 с.

97 Muldashev T.Z., Lyapustin A.I., Sultangazin U.M. Spherical harmonics method in the problem of radiative transfer in the atmosphere–surface system // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. – 1998. – V. 61. – P. 393-404.

98 Темирбеков Н.М., Мадияров М.Н., Абдолдина Ф.Н., Малгаждаров Е.А. Numerikal modeling of atmospheric processes in the limited territory and their adaptation for modeling a mikroclimate of Ust-kamenogorsk // International konferens. - Tomsk, 2006.

99 Марчук Г.И., Султангазин У.М. К обоснованию метода расщепления для уравнения переноса излучения // Журн. вычисл. матем. и мат. физики. – 1965. – Т. 5, № 5. – С. 590-596.

100 Пененко В.В., Султангазин У.М., Балаш Б.А. Решение кинетического уравнения методом расщепления // Вычислительные методы в теории переноса. – М.: Атомиздат, 1969.- С. 17-25.

101 Микрюков А.В. Численное моделирование распространения примесей от источников загрязнения с учетом рельефа местности: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / Ижевск, 2004. – 181 с. – РГБ ОД, 61:05-1/103.

102 Kulmala M., Laaksonen A., Pirjola M. Parameterization for sulfuric acid/water nucleation rates // J. Geophys. Res. – 1998. – V. 103, D7. – P. 88301–88307.

103 Jacobson M.Z. Fundamentals of Atmospheric Modeling. – Cambridge: Academic Press, 1999. – 367 p.

104 Сугак Е.В. Войнов Н.А. Николаев Н.А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами 2-ое изд. – Казань: Отечество, 2009. - 224 с.

105 Waldemar Wojcik, Saltanat Adikanova, Yerzhan Amangazinovich Malgazhdarov, Muratkan Nabenovich Madiyarov, Anar Bazarovna Myrzagaliyeva, Nurlan Muhanovich Temirbekov, Mukhtar Junisbekov, Lucjan Pawłowski Probabilistic and Statistical Modelling of the Harmful Transport Impurities in the Atmosphere from Motor Vehicles // Rocznik ochrona srodowiska. – 2017. –V.19- P.795-808.

106 Vitalii B. Mokin, Victoria V. Rodinkova, Tatiana Y. Vuzh, W. Wójcik, S. Sailarbek The improvement of the volumetric monitoring system to raise the analysis accuracy for the allergic pollen found in the city atmosphere // Przegląd elektrotechniczny. – 2017. V.93, №5. – P. 87-91.

107 Адиканова Салтанат Өскемен қаласының қоршаған ортасына автокөліктерден бөлінген жалпы зиянды қоспаларды анықтау // Вестник ВКГТУ им.Д.Серикбаева, 2018. – 3 ч. – С. 116-123.

108 M.N.Madiyarov, S.Sailarbek Geoinformation system on the Basis of mathematical model of the microclimate of the industrial city // Вестник КазНУ им.Аль-Фараби. - 2015. - №3 (86). – С.191-201.

109 M.N.Madiyarov, S.Sailarbek Geographic Information System for Assessing the Impact of Road Transport Emissions on the City Environment // GEOMED 2016 4th International Geography Symposium. - Kemer, Antalya, TURKEY, 2016. - pp.524-537.

110 Oleksii M. Moskvina, Saltanat Sailarbek, Konrad Gromaszek User behavioral model in hypertext environment // 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications. - Lublin and Naleczow, Poland, 2015. - pp. 98161Y-1 - 98161Y-7.

111 Vitalii B. Mokin, Georgii V. Goriachev, Dmytro Y. Dziuniak, Konstantin O. Bondaletov, Serhii O. Zhukov, Mariusz Duk, Saltanat Sailarbek Information measuring systems with mobile devices for identification of air pollution parameters caused by transport // Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments. Wilga, Poland. 2016. - Vol. 10031. - pp. 1003128-1-1003128-8.

112 Луканин В.Н., Буслаев А.П., Яшина М.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда – 2: Учеб. пособие для вузов. - Под ред. В.Н.Луканина. – М.:ИНФРА-М, 2001. - 646 с.

113 Адаптация сетей мониторинга в странах ВЕКЦА: Мониторинг качества воздуха [Текст]: ЕСЕ/СЕР/АС.10/2006/3. – ЕЭК ООН, Женева. – 2006. – 27 с.

114 Рекомендации по совершенствованию национальных систем мониторинга и информации по ОС для стран ВЕКЦА [Текст]: ЕСЕ/СЕР/109. – 2003. – 6 с.

115 Участие СНГ и некоторых других стран переходного периода в международных сетях мониторинга и оценки загрязнения воздуха [Текст]: СЕР/АС.10/2002/6. – ЕЭК ООН. – 2002. – 12 с.

116 Материалы рабочего совещания по информационным технологиям для проведения экологического мониторинга и оценки [Текст]: СЕР/АС.10/2002/13. – ЕЭК ООН, Обнинск. 2002. – 5 с.

117 Развитие экологических сетей и информационных систем в странах ВЕКЦА [Электронный ресурс] / А. Свирчевский // Доклад. – Обнинск, 2003.

118 Маршалл Дж. Использование современных технологий: возможности и задачи для развивающихся стран [Текст] / Дж. Маршалл и др. – Бюл. ВМО. – VII, 2007. – №56. – С. 189 – 195.

119 Volpe F. QuickBird High Resolution Satellite Data for Urban Applications [El. resource] / Volpe Fabio, etc. – 2003. – 3 p. http://eurimage.com/products/tech_papers/qb_urban-applications.pdf.

120 Computational fluid dynamics [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.cfdgroup.ru/glossary/test>. – загл. с экрана.

121 Вычислительная_гидродинамика [электронный ресурс], режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Вычислительная_гидродинамика. – загл. с экрана.

122 Computational fluid dynamics - Definition [электронный ресурс], режим доступа: http://www.wordiq.com/definition/Computational_fluid_dynamics. – загл. с экрана.

123 Экологический портал Санкт-Петербурга. URL: www.infoeco.ru/index.php?id=53. – загл. с экрана

124 Zannetti, P. Numerical simulation modelling of air pollution: an overview // Air pollution. Southampton, Computational Mechanics Publications. – 1993. - pp. 3 – 14.

125 Moussiopoulos, N. Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models Copenhagen // European Environment Agency. – 1996. - №19.

126 Alternative Models [электронный ресурс], режим доступа: http://www.epa.gov/scram001/dispersion_alt.htm. – загл. с экрана.

127 Адиканова С., Малгаждаров Е.А., Мадияров Н.М., Турганбаев Е.М. Вероятно-статистическое моделирование переноса вредных примесей в атмосфере от автотранспортных средств // Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева.- Астана. 2017. - №4 (119). – С.36-43.

128 Абдолдина Ф.Н. Математическое моделирование процесса рассеяния вредных примесей от автотранспорта в атмосфере воздуха: дис. ... к.т.н: 05.13.18 / Институт математики МОН РК .- Алматы, 2006.- 114 с.

129 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). - Москва 2012. - от 17.02.2012 № 49-р.

130 Адиканова С, Денисова Н.Ф., Малгаждаров Е.А. Разработка системы моделирования процесса рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе города Усть-Каменогорска выбрасываемых автотранспортом // Совместный выпуск журналов «Вестник ВКГТУ им.Д.Серикбаева» и «Вычислительные технологии». – 2018. - Т.1, №3. - Часть 3. – С. 239-258.

131. Ник Рендольф Дэвид Гарднер Майкл Минутилло Крис Андерсон. Visual Studio 2010 для профессионалов = Professional Visual Studio 2010. – Москва: «Диалектика», 2011. - 1184 с.

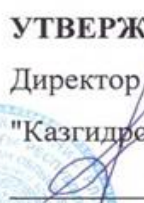
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт внедрения

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала РГП на ПХВ

"Казгидромет" по ВКО


М.Е. Еркинбеков

« 01 » августа 2018 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Адикановой Салтанат «Разработка информационной системы для моделирования загрязнения атмосферы автотранспортом»

Настоящий акт составлен в том, что информационная система для моделирования распространения примесей вредных веществ, выбрасываемых автотранспортом, в атмосферном воздухе города, разработанная докторантом кафедры «Информационные технологии» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им.Д.Серикбаева Адикановой С., внедрен в августе 2018 года и успешно используется при работе инженерами комплексной лаборатории филиала РГП на ПХВ «Казгидромет» по ВКО.

В основе информационной системы заложен метод моделирования областей возможного размещения сооружений с соблюдением санитарных норм загрязнения для всех экологически значимых норм. Программное средство позволяет моделировать выбросы при различных вариантах организации дорожного движения, строительство инженерных сооружений и оценить степень экологического конфликта каждого из вариантов. Будет особенно полезно при разработке маршрутов и графиков движения общественного транспорта и их оценке с экологической точки зрения.

Ведущий инженер

комплексной лаборатории

 А. Халел

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Листинг кода

```
{
  "prefs": {
    "showConsole": true,
    "mapView": {
      "center": [
        49.990304654813435,
        82.49427795410156
      ],
      "zoom": 11
    },
    "calcGrid": {
      "bbox": {
        "northWest": {
          "lat": 50.04258876970728,
          "lng": 82.43659973144532
        },
        "northEast": {
          "lat": 50.04258876970728,
          "lng": 82.81288146972656
        },
        "southWest": {
          "lat": 49.87074245972464,
          "lng": 82.43659973144532
        },
        "southEast": {
          "lat": 49.87074245972464,
          "lng": 82.81288146972656
        }
      },
    },
    "size": {
      "width": 27000,
      "height": 20000,
      "cell": 50,
      "time": 72,
      "windAngle": 1,
      "windSpeed": 225,
      "visStep": 10
    },
    "show": true
  },
  "area": {
```

```
"carsTotal": null,
  "contaminants": {
    "Em_co": {
      "name": "Em_co",
      "active": false,
      "A": 0,
      "B": 0,
      "C": 0
    },
    "Em_co2": {
      "name": "Em_co2",
      "active": false,
      "A": 0,
      "B": 0,
      "C": 0
    },
    "Em_ch": {
      "name": "Em_ch",
      "active": false,
      "A": 0,
      "B": 0,
      "C": 0
    }
  },
  {
    "id": 211748,
    "x": 68,
    "y": 392,
    "lat": 49.87417938592429,
    "lng": 82.4839833577474,
    "emission": 12.60110389450009
  },
  {
    "id": 211752,
    "x": 72,
    "y": 392,
    "lat": 49.87417938592429,
    "lng": 82.48677062988282,
    "emission": 12.637884597612387
  },
  {
    "id": 212289,
    "x": 69,
    "y": 393,
    "lat": 49.87374977014934,
```



```

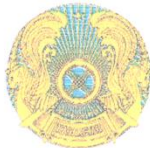
"lng": 82.48468017578126,
  "emission": 12.60110389450009
},
{
  "id": 212290,
  "x": 70,
  "y": 393,
  "lat": 49.87374977014934,
  "lng": 82.48537699381512,
  "emission": 12.60110389450009
},
{
  "id": 212292,
  "x": 72,
  "y": 393,
  "lat": 49.87374977014934,
  "lng": 82.48677062988282,
  "emission": 12.637884597612387
},
{
  "id": 212831,
  "x": 71,
  "y": 394,
  "lat": 49.873320154374376,
  "lng": 82.48607381184897,
  "emission": 12.637884597612387
}
},
"sequences": {
  "nodes": {
    "prefix": "nd_",
    "value": 346
  },
  "edges": {
    "prefix": "eg_",
    "value": 520
  },
  "points": {
    "prefix": "pt_",
    "value": 1116
  }
}
} }

```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Официальное письмо в УАП ДВД ВКО

Қазақстан Республикасы
Білім және ғылым министрлігінің
«Д. Серікбаев атындағы
Шығыс Қазақстан мемлекеттік
техникалық университеті»
шаруашылық жүргізу құқығындағы
республикалық мемлекеттік
кәсіпорыны



Республиканское государственное
предприятие на праве
хозяйственного ведения
«Восточно-Казахстанский
государственный технический
университет им. Д. Серикбаева»
Министерства образования и науки
Республики Казахстан

Қазақстан Республикасы, ШҚО
070004, Өскемен қаласы, А.К. Протозанов көшесі, 69
070010, Өскемен қаласы, Д. Серікбаев көшесі, 19
тел.: 26-28-89, факс 26-74-09
E-mail: kanc_ekstu@mail.ru

«СБЕРБАНК» АҚ ЕБ Өскемен қаласындағы филиалы
ЖСК KZ70914102203KZ00DL
БСК SABRKZKA, РНН 181800000624, Код (КБе) 16

БСН 010440002379

07.08.2018 № 15-22-03/1504

Республика Казахстан, ВКО
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова А.К., 69
070010, г. Усть-Каменогорск, ул. Д.Серикбаева, 19
тел.: 26-28-89, факс 26-74-09

E-mail: kanc_ekstu@mail.ru

ДБ АО «СБЕРБАНК» филиал в г. Усть-Каменогорск
ИИК KZ70914102203KZ00DL, БИК SABRKZKA,
РНН 181800000624, Код (КБе) 16
БИН 010440002379

**Начальнику Управления
административной полиции
ДВД ВКО подколковнику
Кажиеву Е.А.**

Уважаемый Ергали Адильгажиевич!

В Восточно-Казахстанском государственном техническом университете им.Д.Серикбаева проводится научное исследование по теме «Разработка информационной системы для моделирования загрязнения атмосферы автотранспортом», в связи с этим просим Вас рассмотреть возможность предоставления обобщенной информации об автотранспортных средствах г.Усть-Каменогорска.

Общее количество автотранспортных средств зарегистрированных в г.Усть-Каменогорске ВКО на сегодняшний день с указанием технической характеристики (марка автомобиля, тип автомобиля, год выпуска, тип топлива, объем двигателя, расход топлива на 100 км на трассе и по городу):

И.о. ректора

ВКГТУ им.Д.Серикбаева

С.Рахметуллина

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Данные с УАП ДВД ВКО о количестве АТС



И.о. ректора ВКГТУ
им. Д. Серикбаева
С. Рахметуллиной
г. Усть-Каменогорск,
ул. Протозанова, 69

На №15-22-03/1504 от 07.08.2018 года

Направляем Вам сведения о количестве зарегистрированных автотранспортных средств, принадлежащих физическим и юридическим лицам (по типам) в г. Усть-Каменогорске по состоянию на 01.08.2018 года.

Для получения информации по маркам автомобилей необходимо указать конкретно-интересующие вас марки и модели автомобилей.

Сведения по техническим характеристикам (расходу топлива) в базе данных регистрационно-экзаменационной работы ДВД не учитывается.

Рекомендуем использовать данные завода изготовителя.

Приложение: на 1-м листе.

И.о. начальника УАП ДВД ВКО

Е. Базаров

исп.: И. Клишин
тел.: 777-680

Сведения о количестве транспортных средств юридических лиц по г. Усть-Каменогорску на 01.08.2018 г.

	Населенный пункт	Легковые	Грузовые	Автобусы	Мотоциклы	Прицепы	Всего
1	Усть-Каменогорск	7654	5021	1310	38	1510	15 533

Сведения о количестве транспортных средств физических лиц по г. Усть-Каменогорску на 01.08.2018 г.

	Населенный пункт	Легковые	Грузовые	Автобусы	Мотоциклы	Прицепы	Всего
1	Усть-Каменогорск	81947	3509	959	1928	3809	92 152