

На правах рукописи

*Попова*

ПОПОВА НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ УНИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА  
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Специальность: 05.11.13 – Методы и приборы контроля природной среды, веществ,  
материалов и изделий.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук.

МОСКВА-2012

Работа выполнена на кафедре промышленной экологии Национального  
исследовательского университета «МИЭТ»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Каракеян Валерий Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Рощин Владимир Михайлович,  
профессор кафедры материалов и процессов  
твердотельной электроники,  
декан факультета электронных технологий,  
материалов и оборудования Национального  
исследовательского университета «МИЭТ»  
  
кандидат химических наук, доцент  
Гурковская Елена Александровна,  
профессор кафедры охраны труда и промышленной  
экологии Московского государственного  
университета технологий и управления им.  
К.Г. Разумовского

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт  
точного машиностроения (НИИТМ)

Защита диссертации состоится «29» *марта* 2012 г. в *14:30* час в ауд. 3103 на  
заседании диссертационного совета Д212.134.04 в Национальном исследовательском  
университете «МИЭТ» по адресу: 124498, г. Москва, Зеленоград, проезд 4806, д.5

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального  
исследовательского университета «МИЭТ».

Автореферат разослан «13» *апреля* 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



Погалов Анатолий Иванович

2012 А  
13439

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
С.-Петербург  
03.07.12 538

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Техногенная деятельность человека стала ощутимым фактором воздействия на окружающую среду, что вызывает необходимость организации широкомасштабной и эффективной системы мониторинга ее состояния, особенно в крупных городах и вокруг экологически опасных объектов. Особую остроту этот вопрос приобретает для наукоемкой природно-технической геосистемы (НПТГ), характерным признаком которой является тесная взаимосвязь производственных и природных процессов. В этих обстоятельствах объективная информация о качестве компонентов природного комплекса как источника технологических сред для предприятий микроэлектроники становится одним из важных условий их успешной деятельности.

Современные информационные технологии позволяют разработать автоматизированную систему экологического мониторинга (АСЭМ) для оценки негативности как отдельного локального источника антропогенного воздействия, так и предприятия в целом, с перспективой объединения и интеграции всей экологической информации в более крупном масштабе.

Однако достойному внедрению АСЭМ в экоаналитическую науку и практику до настоящего времени препятствуют отсутствие единых методологических подходов к их созданию, недостаточность формализованных обоснований организации, оценки эффективности и работоспособности систем на той или иной территории. Разработка концепции, методологических принципов и техническая реализация элементов АСЭМ создадут возможность унификации и стандартизации в этой сфере, обеспечат оперативность, объективность и своевременность информации.

Заинтересованными потребителями такой информации являются высокотехнологичные предприятия НПТГ, конкурентоспособность продукции которых напрямую связана с уровнем экологического менеджмента. Поскольку такие производства чрезвычайно энергоемки, важность экологической информации для них трудно переоценить, так как она во многом определяет энергетическую эффективность систем жизнеобеспечения чистых помещений и возможности их обеспечения технологическими средами нового весьма высокого уровня качества.

Таким образом, разработка унифицированного комплекса мониторинга, состоящего из методологии построения автоматизированных систем наблюдения за состоянием городской воздушной среды и их инструментального обеспечения, является необходимой и, безусловно, актуальной темой диссертационного исследования.

Объектом исследования является унифицированный комплекс мониторинга состояния воздушной среды наукоемкой природно-технической геосистемы.

Предметом исследования являются методологические принципы проектирования систем экологического мониторинга, а также практические методы ввода в действие автоматизированных систем мониторинга состояния воздушной среды.

Целью работы является: разработка унифицированного комплекса, состоящего из методологии построения автоматизированных систем экологического мониторинга и их инструментального обеспечения.

Достижение поставленной цели обеспечивается комплексным решением следующих задач:

1. Инженерно-экологический анализ НПТГ и обоснование необходимости оснащения территории современной системой мониторинга воздушной среды.

2. Классификация и критический анализ систем экологического мониторинга, функционирующих в характерных для Российской Федерации НПТГ.

3. Определение критериев:

- обоснования внедрения АСЭМ на территории НПТГ,
- оценки научно-технического уровня концепции предлагаемой системы,
- оценки состоятельности и работоспособности предлагаемой системы.

4. Разработка унифицированных принципов проектирования АСЭМ и оптимизация размещения постов контроля на территории НПТГ.

5. Создание концептуальной модели АСЭМ, отвечающей интересам высокотехнологичных предприятий и НПТГ в целом.

6. Разработка приборов контроля воздушной среды и использование предлагаемой методологии для теоретической и практической реализации АСЭМ на территории НПТГ.

**Научная новизна работы:**

1. При использовании результатов комплексного исследования компонентов окружающей среды, техногенных и социально-экономических условий была произведена инженерно-экологическая оценка наукоемкой природно-технической геосистемы г. Зеленограда, показавшая что, объективная информация о качестве природного комплекса как источника технологических сред для предприятий микроэлектроники становится одним из важных условий их успешной деятельности.

2. Выполнен критический анализ современных систем экологического мониторинга и обоснована необходимость их унификации с целью создания автоматизированных комплексов для оперативной, объективной и своевременной оценки негативности источников антропогенного воздействия, с перспективой объединения и интеграции всей экологической информации в масштабе страны.

3. Разработана унифицированная методология построения АСЭМ для наукоемкой природно-технической системы, которая включает обоснование необходимости внедрения системы мониторинга на территории; формирование требований, разработку концептуальной модели и технического проекта системы; оценку научно-технического уровня проекта; оптимизацию размещения постов наблюдения, основанную на принципе контролируемости (наблюдаемости) источников загрязнения; научно-методологическое обоснование состоятельности проекта; а также включает этап рекомендаций по внедрению системы.

4. Разработаны критерии необходимости системы экологического мониторинга, предусматривающие оценку фоновое состояние, экологической ситуации и значимости состояния атмосферного воздуха, почвы, водных объектов, плотности населения на территории, количества и класса опасности предприятий, функционирующих в регионе, состава и структуры транспортного комплекса, а также хозяйственной нагрузки на рассматриваемой территории. Определены критерии оценки научно-технического уровня, состоятельности и работоспособности проекта.

5. Предложена новая концептуальная модель автоматизированной системы дистанционного мониторинга окружающей среды, состоящая из сервиса сбора первичных данных (стационарные и мобильные контрольные посты), сервиса передачи информации (прямая и обратная связь на базе глобальных каналов сотовой связи GSM, GPRS, CDMA, все стандарты 3G), сервиса обработки, хранения и представления информации (центральный контрольный пульт с общей базой данных) для пользователей различного уровня.

6. Теоретически обосновано использование в составе автоматизированной системы дистанционного мониторинга окружающей среды масс-спектрометра, отличающегося от аналогов использованием модифицированного монополярного фильтра масс и детектора ионов на основе цилиндра Фарадея.

Практическая значимость работы:

1. Показана тесная взаимосвязь качества продукции высокотехнологических производств и состояния атмосферы НПТГ.
2. Спроектирована и подготовлена к вводу в действие автоматизированная система дистанционного мониторинга окружающей среды для г. Зеленограда.
3. Разработаны и опробованы устройства дистанционного мониторинга состояния окружающей среды в составе АСЭМ.
4. Разработаны рекомендации по практическому размещению постов контроля параметров окружающей среды на территории НПТГ.

Внедрение результатов работы: результаты данной работы нашли внедрение в учебном процессе, а также при проектировании и инструментальной реализации систем коррозионного мониторинга магистральных трубопроводов ОАО «Газпром». В дальнейшем разработанную методологию предполагается применять при создании автоматизированных систем экологического мониторинга промышленных и хозяйственных объектов в различных регионах страны.

Личный вклад автора: все основные результаты получены лично автором, а именно:

1. Инженерно-экологическая оценка состояния атмосферы НПТГ, классификация и критический анализ современных систем экологического мониторинга, а также обоснование необходимости их унификации.
2. Разработка критериев необходимости системы, оценки научно-технического уровня, состоятельности и работоспособности проекта.
3. Разработка концепции автоматизированной системы дистанционного мониторинга состояния НПТГ.
4. Оптимизация размещения пунктов наблюдения за загрязнением атмосферы г. Зеленограда.
5. Теоретическое обоснование разработки для использования в составе АСЭМ масс-спектрометра с модифицированным монополярным фильтром масс и детектором ионов на основе цилиндра Фарадея.

Автор также принимал активное участие:

- в проектировании основных компонентов автоматизированной системы дистанционного мониторинга состояния НПТГ;
- в проведении предварительных испытаний всех компонентов автоматизированной системы дистанционного мониторинга состояния воздушной среды НПТГ;
- в подготовке к вводу автоматизированной системы дистанционного мониторинга состояния воздушной среды НПТГ в действие.

Достоверность результатов. В работе использован комплексный подход к решению рассматриваемой проблемы. Методология создана на основе государственных стандартов, не противоречит законам РФ и существующим положениям экоаналитической науки и практики. В качестве теоретической основы диссертационной работы использовались: теория атмосферной диффузии, численные и статистические методы прогноза загрязнения воздуха, теория оптимизации, молекулярно-кинетическая теория газов, теоретические основы работы масс-

спектрометров и вакуумной техники, методы экспертной оценки и системного анализа, теория надежности технических систем, теория систем автоматического управления. Достоверность полученных результатов обусловлена проверками на адекватность на основе экспериментальных данных и сравнением со сведениями отечественных и зарубежных исследователей. Экспериментальные исследования проводились на сертифицированном измерительном оборудовании. Разработанные устройства зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих научных конференциях и семинарах:

1. 12-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2005», Москва, апрель 2005 г.
2. 5-я Международная научно-техническая конференция «Электроника и информатика – 2005», Москва, ноябрь 2005 г.
3. 13-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2006», Москва, апрель 2006 г.
4. 14-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2007», Москва, апрель 2007 г.
5. Конференция «Актуальные проблемы противокоррозионной защиты» в рамках «5-ой Международной специализированной выставки по газоснабжению и использованию газа GasSUF-2007», Москва, сентябрь 2007 г.
6. 15-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2008», Москва, апрель 2008 г.
7. 16-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2009», Москва, апрель 2009 г.

Публикации. Основные результаты, полученные автором и изложенные в диссертации, опубликованы в 22 работах, в том числе 5 работ в рецензируемых журналах из перечня, рекомендуемом ВАК РФ. На ряд решений предложенных в диссертации было получено 6 патентов на полезные модели. По материалам диссертации сделано 7 докладов на научных конференциях. Результаты, содержащиеся в работах, выполненных в соавторстве, и включенные в диссертацию, получены автором лично и включены в диссертацию с согласия и одобрения соавторов этих работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из списка сокращений, введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, содержащего 102 наименования, и приложений. Объем основной части диссертации составляет 120 страниц.

#### Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель, основные задачи и методы исследований, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, личный вклад автора, результаты внедрения, достоверность исследований, апробация и публикации по теме диссертации, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе показано, что главным системообразующим признаком НППТ является взаимосвязь экономических, технологических и природных процессов. В этих обстоятельствах обостряется проблема управления качеством окружающей среды как источника систем жизнеобеспечения производства. Разработка современных методов мониторинга атмосферы, адекватно и своевременно

отражающих состояние реальных объектов внешней среды является одним из условий повышения энергоэффективности наукоемких производств, природно-технической геосистемы города и региона в целом.

Наукоемкий природно-технический комплекс обладает всеми основными признаками большой социально-экономической системы как совокупности функционирующих элементов, объединенных в единое структурное целое. С учетом сказанного рассмотрим наиболее энергоемкий процесс высоких технологий – подготовку чистого воздуха в виде трех технико-экологических комплексов характеристик воздуха:

- комплекс  $\sum A_{ax}$  включает атмосферу перед входом в ЧП с климатическими, метеорологическими, промышленно-экологическими характеристиками района, монтажно-строительными и гидроаэродинамическими характеристиками мест забора воздуха с учетом его фазово-компонентных превращений в процессе первичной обработки в системе кондиционирования в течение года;

- комплекс  $\sum P_{чпп}$  предполагает процессы движения воздуха по распределительным системам, рециркуляционным и местным контурам ЧП, вспомогательным и сервисным участкам с учетом факторов, обусловленным технологии обработки полупроводниковых пластин, и факторов, проистекающих из вторичной обработки воздуха в системе прецизионного кондиционирования и фильтрации;

- комплекс  $\sum A_{вых}$  имеет в виду воздух после выхода из ЧП с его экологическими характеристиками, диктующими необходимость или целесообразность его очистки от примесей с учетом экономических аспектов этой проблемы.

При этом технико-экологический комплекс параметров и характеристик на входе в производство  $\sum A_{ax}$  должен быть не хуже аналогичного комплекса на выходе из него  $\sum A_{вых}$ , т. е. необходимо соблюсти соотношение  $\sum A_{вых} \leq \sum A_{ax}$ .

Весь спектр факторов, составляющих систему экологического обеспечения высоких технологий должен составлять одновременно для всех трех блоков. При этом обязательное условие состоит в том, что выходные параметры 1-го блока должны быть входными для 2-го, а выходные параметры 2-го блока – начальными для 3-го блока. Таким образом, выходные параметры 3-го блока должны быть не хуже входных 1-го блока. С учетом этого принципа и разумной достаточности параметры наружного воздуха, подлежащие мониторингу в режиме реального времени и определяющие сложность и энергоемкость его кондиционирования, включают: характер движения воздуха, температура, относительная влажность, барометрическое давление, загрязненность газами и парами, запыленность, физические загрязнения (шум, вибрации, электромагнитное излучение и др.).

Комплекс процессов  $\sum A_{ax}$  занимает главенствующее положение в жизнеобеспечении высокотехнологичного производства, ибо именно он определяет структуру, энергоемкость и совокупность затрат генеральной системы кондиционирования и фильтрации воздуха.

Таким образом, разработка и организация современной системы мониторинга атмосферы, адекватно и своевременно отражающей ее реальное состояние становится крайне необходимой как для промышленности, так и для населения города.

Результатом наблюдения за состоянием природной среды и происходящими в ней процессами должна стать оценка фактического состояния и прогноз ее изменения. Следует принять во внимание, что сама система мониторинга не включает

деятельность по управлению качеством среды, но является источником необходимой информации для принятия экологически значимых решений.

Из установленных выше связей высокотехнологичных производств с характеристиками внешней среды следует, что в наибольшей степени решению намеченных задач отвечает инженерно-экологический мониторинг состояния природно-технических геосистем, представляющий собой вид научно-производственной деятельности, основанный на комплексе знаний в области метеорологии, экологии, аэродинамики, аналитической и физической химии и др.

В настоящее время существуют два основных способа реализации систем экологического мониторинга: аналитический, основанный на применении аналитического и измерительного оборудования для определения концентраций и расхода с дальнейшим расчетом величины выброса, и параметрический, основанный на математическом моделировании процессов распространения примесей и на физико-химических основах этих процессов.

В основу параметрической системы мониторинга состояния атмосферного воздуха положены отраслевые расчетные методики, позволяющие определять выбросы с неким усреднением. Несмотря на относительно невысокую стоимость таких систем, их очевидным недостатком является ограниченная применимость для новых технологий и материалов и современного оборудования.

Аналитические системы экологического мониторинга реализуются с помощью различных инструментальных лабораторных и экспрессных методик и позволяют получить наиболее полную информацию о составе пробы. Существенные недостатки для задачи непрерывного контроля состоят в трудоемкости, значительных временных затратах и высокой стоимости, что ограничивало их широкое повсеместное применение. Однако за последние пять лет в рамках создания Единой информационно-аналитической системы природопользования и охраны окружающей среды происходит внедрение и развитие аналитических систем мониторинга во многих регионах РФ.

Рассмотрев аналитические системы экологического мониторинга, реализованные в характерных для России природно-технических геосистемах (ПТГ), можно предложить их классификацию по контролируемой среде, по используемым аналитическим методам, по специфике наблюдаемой ПТГ и т.д. Но наиболее подходящей для данного исследования видится классификация по используемым аналитическим методам (рисунок 1).

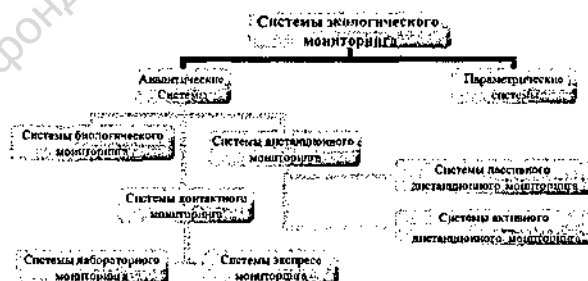


Рисунок 1 – Классификация систем экологического мониторинга



В результате анализа значительного числа примеров каждой из систем в рамках предложенной классификации было установлено, что ни одна из них не позволяет в реальном времени с достаточной точностью отслеживать все необходимые факторы наружного воздуха, подлежащие мониторингу. Однако, становится очевидной перспективность для решения задач данной работы сочетание различных систем на основе аналитических методов.

Инженерно-экологическая оценка состояния НПТГ и результаты критического анализа проблем мониторинга позволили определить направления предстоящих исследований:

1. Разработка унифицированной методологии создания автоматизированных систем экологического мониторинга (АСЭМ);
2. Определение критериев:
  - обоснования внедрения АСЭМ на территории НПТГ,
  - оценки научно-технического уровня концепции предлагаемой системы,
  - оценки состоятельности и работоспособности предлагаемой системы;
3. Разработка унифицированных принципов проектирования АСЭМ и оптимизация размещения постов контроля на территории НПТГ;
4. Создание концептуальной модели АСЭМ, отвечающей интересам предприятий и НПТГ в целом;
5. Разработка приборов контроля атмосферы и использование предлагаемой методологии для теоретической и практической реализации АСЭМ на территории НПТГ.

Вторая глава посвящена разработке унифицированной методологии построения автоматизированных систем экологического мониторинга, включающей этапы:

1. Исследование природно-технической среды района и обоснование необходимости внедрения АСЭМ на данной территории;
2. Формирование требований к АСЭМ, разработка концептуальной модели системы и оценка ее научно-технического уровня;
3. Оптимизация размещения элементов АСЭМ;
4. Технический проект АСЭМ, научно-методологические обоснования его состоятельности и работоспособности;
5. Внедрение и эксплуатация АСЭМ.

Особенности территории НПТГ, определенные при инженерно-экологических изысканиях района, выдвигают задачу обоснования внедрения системы экологического мониторинга. Предлагается унифицированный критерий обоснования внедрения систем экологического мониторинга, разработанный с помощью метода экспертных оценок на основе анализа показателей, описывающих нагрузку на окружающую среду НПТГ.

Экспертное обоснование состоит в расчете суммы рангов  $S_j$  и коэффициента весомости  $q_j$  показателей по формулам:

$$S_j = \sum_{i=1}^n R_{ij}, \quad (1)$$

$$q_j = S_j / S_{\Sigma j}, \quad (2)$$

где  $R_{ij}$  – ранг оценки, данной  $i$ -тым экспертом  $j$ -тому объекту;  $n$  – число экспертов;  $S_j$  – сумма баллов, присвоенных всеми экспертами по  $j$ -му показателю;  $S_{\Sigma j}$  – сумма баллов, присвоенных всеми экспертами по всем показателям.

Согласованность мнения экспертов  $W$  оценивается по величине коэффициента конкордации:

$$W = \frac{12 \times \sum_{j=1}^m d_j^2}{n^2(m^3 - m)}, \quad (3)$$

где  $n$  – число экспертов;  $m$  – число объектов экспертизы.

Коэффициент конкордации изменяется в диапазоне  $0 < W < 1$ , причем 0 – полная несогласованность, 1 – полное единодушие.

Среднее значение суммы рангов оценок по всем объектам экспертизы определяется по формуле:

$$\bar{S} = \sum_{j=1}^m \frac{S_j}{m}. \quad (4)$$

Отклонение суммы рангов, полученных  $j$ -тым объектом, от среднего значения рангов равно  $d_j = S_j - \bar{S}$ .

В результате расчета получили  $W=0,866267$ , что свидетельствует о согласованности мнений экспертов.

На основании 8 показателей, набравших наибольшие баллы, предлагается критерий обоснования необходимости внедрения системы экологического мониторинга ( $K$ ):

$$K = \Pi 1 + \Pi 2 + \Pi 3 + \Pi 4 + \Pi 5 + \Sigma \Pi 6 + \Sigma \Pi 7 + \Sigma \Pi 8, \quad (5)$$

где  $\Pi 1$  – показатель фонового экологического состояния;  $\Pi 2, \Pi 3$  – показатели экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха и почвы территорий экономических районов Российской Федерации;  $\Pi 4$  – показатель экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов по бассейнам основных рек;  $\Pi 5$  – показатель, зависящий от плотности населения на территории НППГ;  $\Pi 6$  – показатель, учитывающий количество и класс опасности предприятий, функционирующих на территории НППГ;  $\Pi 7$  – показатель, описывающий состав и структуру транспортного комплекса НППГ, определяемый по нормативам по формуле  $\Pi 7 = \text{Авто} + \text{Жд} + \text{Вод} + \text{Воз} + \text{М}$ ;  $\Pi 8$  – показатель, учитывающий хозяйственную нагрузку на территорию, определяемый по нормативам в зависимости от количества хозяйственных объектов на территории.

Экспертная оценка показала, что зависимости критерия  $K$  от фонового экологического состояния территории и от источников нестабильной экологической обстановки в регионе достаточно для того, чтобы внедрение системы экологического мониторинга было обоснованным. Все параметры, которые используются для расчета критерия  $K$  определяются в инженерно-экологических изысканиях, проводимых в рамках данной методики. Кроме того, по величине  $K$  можно судить о характере функционирования системы экологического мониторинга (например, частота контроля).

На этапе формирования требований к АСЭМ автор рекомендует:

- сформулировать общие требования к функциональному поведению проектируемой системы;
- разработать исходную концептуальную модель системы для ее последующей детализации в форме логических и физических моделей;
- подготовить исходную документацию для взаимодействия разработчиков системы с ее заказчиками и пользователями.

Далее необходимо оценить научно-технический уровень предложенной концепции АСЭМ. Оценка основана на РД 50-492-84 «Методика оценки научно-технического уровня АСУ. Типовые положения».

При разработке системы мониторинга одним из существенных является вопрос об оптимальном размещении пунктов наблюдений за загрязнением атмосферы. Для его решения предлагается математическая или «управленческая» модель расположения постов на контролируемой территории.

«Управленческая» модель системы создается на основе инженерно-экологических изысканий территории. Положение постов мониторинга определяет профессиональный инженер-эколог, который сможет учесть то, что НИПТГ является многоконтурным динамическим объектом с переменной структурой при наличии значительной неопределенности его текущего состояния, с очень сложными взаимосвязями. Проектировщик, опираясь на свои знания и опыт, сам решает, где и в каких количествах необходимо устанавливать посты мониторинга. Недостатком «управленческих» моделей может стать субъективность и некомпетентность их создателя.

При существующих математических подходах к размещению пунктов наблюдений обычно рассматривают области масштабов, используя достаточно сложное для решения уравнение турбулентной диффузии и добавляя к нему еще одно уравнение в частных производных для сопряженной к плотности загрязняющего вещества функции. Уравнение предлагается решать методом расщепления, что требует большого количества времени для решения. Также приводятся исключительно сложные для использования методики, поскольку они требуют знания большого количества коэффициентов и функций (ущербы), которые сами могут быть лишь грубо оценены экспертными методами, т.е. основываясь на субъективном мнении отдельных лиц.

В настоящее время известны методики, основанные на расчете положения одного пункта наблюдения при условии, что положение остальных оптимально и фиксировано. Такой подход следует признать недостаточно обоснованным в теоретическом плане, так как совершенно ясно, что при увеличении количества пунктов на единицу имеющиеся пункты могут менять свое положение. Таким образом, рассматриваемый подход не всегда приведет к оптимальному размещению пунктов наблюдения. В связи с этим сохраняется актуальность исследований по отысканию оптимальных и достаточно простых для практического применения методик размещения пунктов наблюдений.

В работе предлагается методика, которая основана на отыскании глобального максимума некоторой целевой функции и содержит всего два свободных параметра. При достаточно простом алгоритме положение всех пунктов наблюдения выбирается одновременно из соображений максимального охвата источников загрязнения. Таким образом, описываемая методика ориентирована на задачу контроля источников загрязнения и лишена рассмотренных выше недостатков. Это позволяет рекомендовать ее для использования при организации автоматизированной системы экологического мониторинга для НИПТГ.

Рассматривается территория города, загрязнение атмосферы в котором создается  $\lambda$  точечными источниками. Известны модели, позволяющих рассчитать загрязнение от точечных источников в так называемой гауссовой теории, когда для расчета средней концентрации загрязнения в приземном слое атмосферы от точечного источника, расположенного в начале координат используется уравнение:

$$q(x, y) = \frac{Q_\lambda}{(1+p)k_1\varphi_0 x^2 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u_1 H^{1+p}}{k_1(1+p)^2 x} - \frac{y^2}{2\varphi_0^2 x^2}\right), \quad (6)$$

где  $Q_\lambda$  - мощность точечного источника (г/сек);  $u_1$  и  $p$  - параметры степенного изменения скорости ветра с высотой:  $u(z) = u_1 z^p$ ;  $k_1$  - коэффициент зависимости интенсивности турбулентного обмена от высоты:  $k(z) = k_1 z$ ;  $\varphi$  - дисперсия направления скорости ветра;  $H$  - высота источника загрязнения; ось  $OX$  ориентирована вдоль направления скорости ветра, ось  $OY$  - перпендикулярно этому направлению. Выражение (6) представляет собой стационарное решение задачи о рассеянии примеси от точечного источника с мощностью  $Q_\lambda$  расположенного на высоте  $H$  над плоскостью.

Для применения формулы (6) в рабочей системе координат значения  $x$  и  $y$  в правой части формулы следует подвергнуть преобразованию сдвига и поворота, то есть заменить на  $(x-x_\lambda)\cos\beta + (y-y_\lambda)\sin\beta$  и  $(y-y_\lambda)\cos\beta - (x-x_\lambda)\sin\beta$  соответственно, где  $(x_\lambda, y_\lambda)$  - координаты источника, а  $\beta$  - угол между осью  $OX$  рабочей системы координат и вектором скорости  $v$ .

Таким образом, в точке с координатами  $(x, y)$  загрязнение от  $\lambda$ -го источника с учетом направления ветра можно описать формулой:

$$q(x, y) = Q_\lambda \times f(x, y, x_\lambda, y_\lambda, \beta) \quad (7)$$

Представим территорию города (точнее, той его части, для которой строится СЭМ как совокупность  $m \times n$  элементарных зон, где  $m$  - число горизонтальных рядов этих зон,  $n$  - число вертикальных рядов.

Пусть  $(x_{ij}, y_{ij})$  - координаты «центра» зоны, где  $i$  - характеризует номер зоны по оси  $X$ , а  $j$  - по оси  $Y$ . Пусть в городе следует разместить  $M$  пунктов наблюдения и число пунктов наблюдения  $M$  меньше числа элементарных зон:  $M < mn$ . Пусть известно положение и мощность  $Q_\lambda$  точечных источников ( $\lambda = 1, \dots, N$ ), создающих загрязнение атмосферы определенным вредным веществом в рассматриваемой части территории города. Для каждой зоны введем в рассмотрение величину  $P_{ij}$ , которая равна 1, если в зоне следует разместить пункт наблюдения и равна 0, если пункт наблюдения размещать не следует. Таким образом, результатом решения задачи будет служить набор значений  $P_{ij}$ .

На основе формулы (7) для каждой зоны  $(x_{ij}, y_{ij})$  ( $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$ ) можно рассчитать величину  $A_{ij}$ , которая характеризует число источников, «наблюдаемых» из этой зоны. Источник будем считать наблюдаемым, если величина загрязнения, рассчитанная по формуле (7), превышает некоторое пороговое значение  $\delta$ , являющееся свободным параметром методики. Выбор этого значения зависит от вида вещества и чувствительности аппаратуры, измеряющей его концентрацию. Для инструментальной реализации автоматизированной системы экологического мониторинга планируется применять высокоточные датчики концентрации  $CO$ , поэтому примем  $\delta = 0,01$  мг/м<sup>3</sup>. Для стандартного измерительного оборудования предлагается использовать значение  $\delta = 0,1 \times ПДК$ .

Проведя расчеты по формуле (7) для каждого источника, можно вычислить для каждой зоны величины  $Z_{\lambda ij}$ , которые равны 1, если источник с номером  $\lambda$  наблюдается в точке  $(x_{ij}, y_{ij})$  и равна 0, если этот источник не наблюдаем в рассматриваемой зоне. Очевидно, что

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N Z_{kij} .$$

В качестве целевой функции было выбрано среднее число источников, наблюдаемое одним пунктом

$$F = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} \times P_j , \quad (8)$$

и нашей задачей будет отыскание набора величин  $P_j$  доставляющих максимум этой функции при некоторых дополнительных условиях. Дополнительные ограничения на величины  $P_j$  необходимо наложить для того, чтобы предотвратить нежелательное и неестественное сгущение пунктов наблюдения в областях с большими значениями  $A_j$ .

В качестве такого дополнительного условия требовалось, чтобы расстояние между двумя любыми пунктами наблюдения было не меньше некоторой величины  $R$ , которая является свободным параметром методики:

$$2R^2(2 - P_j - P_k) + (x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2 \geq R^2 \text{ для } i, j, k, l \quad (9)$$

Поставленная задача может решаться различными способами. Один из них заключается в прямом переборе всех возможных вариантов размещения  $M$  пунктов по  $m \times n$  зонам, исключая размещения, нарушающие условие (9), и вычисления целевой функции (8) для каждого варианта. Этот способ дает решение поставленной задачи, однако время выполнения всех операций оказывается в этом случае чрезмерно большим.

В работе предложен более простой рекуррентный алгоритм, приводящий к решению задачи за малое время.

Рассчитывается количество наблюдаемых источников загрязнения из зоны с координатами  $(x_{ij}, y_{ij})$ , т.е. величины  $A_{ij}$ . Первый пост мониторинга устанавливается в зону, где число наблюдаемых источников максимально. При этом целевая функция будет максимальной. При размещении второго пункта наблюдения подбираем зону с максимальным  $A_{ij}$  среди оставшихся незанятыми и учитывая условия (8). Это условие легко выполняется, если вместе с зоной, занятой первым пунктом, мы будем считать «занятыми» также все зоны в радиусе  $R$  вокруг него. При размещении второго и последующих пунктов наблюдения в незанятой зоне с наибольшим  $A_{ij}$  может оказаться, что таких зон несколько.

Для однозначного выбора очередного пункта наблюдения используем информацию о среднем уровне загрязнения. В случае равенства чисел видности  $A_{ij}$ , естественно выбрать для размещения пункта наблюдения зону с большим уровнем загрязнения. Для удобства дальнейшей эксплуатации постов мониторинга следует учитывать инфраструктуру и ландшафт местности рассматриваемой НПТГ.

Таким образом, шаг алгоритма заключается в отыскании зоны с максимальным числом наблюдаемых источников  $A_{ij}$  и максимальным уровнем среднегодового загрязнения (в случае равенства числа наблюдаемых источников) среди незанятых зон с последующим отнесением найденной зоны и всех ближайших зон в радиусе  $R$  к разряду «занятых». Процесс заканчивается, если размещены все  $M$  пунктов наблюдения, или больше нет свободных зон.

Изменением параметра  $R$  - минимального расстояния между пунктами, можно легко регулировать степень рассредоточения пунктов по контролируемой территории при сохранении свойства оптимальности размещения.

Следует иметь в виду, что в общем случае предлагаемый алгоритм не дает точного решения задачи оптимизации (формулы 8 и 9), сформулированной выше. Действительно, уже размещение первого пункта в зоне с наибольшим числом наблюдаемых источников может оказаться неоптимальным, например, если в «занимаемом» этим пунктом круге радиуса  $R$  будет две-три зоны со значениями  $A_{ij}$  на единицу меньшими, а вне этого круга останутся зоны со значительно меньшими числами видности. Тогда может оказаться выгоднее (с точки зрения критерия (8)) разместить два (или три) пункта в этих зонах, оставляя зону с наибольшим  $A_{ij}$  без внимания. Тем не менее, указанный недостаток, на наш взгляд, носит чисто теоретический характер, и предлагаемый алгоритм может использоваться как приближенный метод решения задачи оптимизации (формулы 8 и 9) на практике.

На начальном этапе технического проекта проводится разработка общих решений по автоматизированной системе и её частям, функционально-алгоритмической структуре системы, по функциям персонала и организационной структуре, структуре и составу технических средств, по алгоритмам решения задач и применяемым языкам, по организации и ведению информационной базы, системе классификации и кодирования информации, по программному обеспечению. По результатам работы оформляется, согласовывается и утверждается соответствующая документация.

Перед внедрением любого проекта следует проанализировать надежность и устойчивость проектируемой системы, таким образом, получив научно-методологические обоснования внедрения разрабатываемой АСЭМ, после чего можно непосредственно приступить к внедрению системы на рассматриваемой территории.

Технологию внедрения АСЭМ рациональнее всего разделить на следующие стадии:

1. Инструментальная реализация компонентов системы.
2. Ввод в действие АСЭМ.
3. Сопровождение АСЭМ.

В рамках третьей главы, используя предлагаемую методологию построения АСЭМ, были выполнены работы по проектированию и подготовке к вводу в действие подобной системы на территории г. Зеленограда.

Были проведены инженерно-экологические изыскания, дана характеристика природно-технической геосистемы Зеленоградского автономного округа г. Москвы, прогнозирование возможных изменений на территории, ее характеристик при развитии региона.

Критерий оценки изменения среды обитания и состояния здоровья населения и критерий обоснования внедрения систем экологического мониторинга свидетельствуют о том, что на обследуемой территории рекомендуется внедрить автоматизированную систему экологического мониторинга, осуществляющую регулярный (каждый час) и «летучий» контроль состояния окружающей среды. Также, учитывая высокую плотность населения и значение показателя транспортного комплекса, на обследуемой территории необходима система селитебного мониторинга окружающей среды, в задачи которой будет входить измерения жизненно важных параметров в местах наибольшего скопления людей и система

транспортного мониторинга, которая будет осуществлять регулярный контроль состояния атмосферного воздуха вблизи проезжих частей.

Ранее проведенный критический анализ функционирующих на территории Российской Федерации систем экологического мониторинга свидетельствует о том, что, несмотря на их многообразие, можно выделить три основных уровня, характерные для каждой системы: уровень первичного сбора данных, уровень передачи данных и уровень обработки, анализа и хранения полученной экологической информации. Учитывая достоинства и недостатки уровней каждой экометрической системы, и требования, предъявляемые к разрабатываемой системе, предлагается концепция автоматизированной системы дистанционного мониторинга окружающей среды.

В основу предлагаемой концепции положена задача создания такой системы экологического мониторинга, которая обеспечивала бы автоматизированный контроль параметров окружающей среды, осуществляла удобную и надежную передачу и прием данных по средствам беспроводной связи, выполняла сбор, хранение и представление информации на различных уровнях.

Поставленная задача достигается тем, что система автоматизированного дистанционного мониторинга окружающей среды включает стационарные и мобильные контрольные посты с детекторами для измерения параметров и характеристик окружающей среды, центральный контрольный пульт. Передача первичных данных от стационарных и мобильных контрольных постов осуществляется с помощью глобальных каналов сотовой связи (GSM, GPRS, CDMA, все стандарты 3G) в общую базу данных центрального контрольного пульта, программное обеспечение которого реализует различный уровень доступа для пользователей.

На рисунке 2 приведена структурная схема предлагаемой системы. Она состоит из сервиса сбора первичных данных (стационарные контрольные посты 1, мобильные контрольные посты 2), сервиса передачи информации (прямая и обратная связь 3 на базе глобальных каналов сотовой связи), сервиса обработки, хранения и представления информации (центральный контрольный пульт 4 с общей базой данных) для пользователей различного уровня 5.

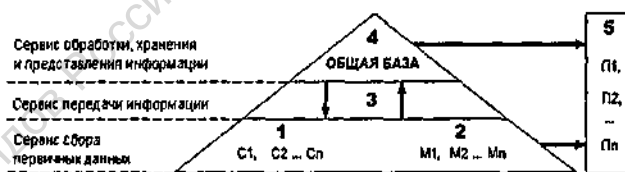


Рисунок 2 – Структурная схема автоматизированной системы дистанционного мониторинга состояния НПТГ

Большинство стационарных контрольных постов 1 должны представлять собой компактные устройства мониторинга, которые позволят измерять приземную концентрацию загрязняющих веществ, а также адекватно судить о физическом воздействии на окружающую среду.

Для электроснабжения устройства предлагается использовать готовую инфраструктуру электрического обслуживания пунктов промышленного мониторинга, автомобильных трасс, железнодорожных путей, магистральных трубопроводов и т.д. Например, для экологического мониторинга крупных

---

транспортных магистралей устройство монтируется на осветительные столбы. Для мониторинга мест, где нет доступного электроснабжения, устройство комплектуется аккумулятором, либо солнечной батареей.

Мобильные контрольные посты 2 представляют собой устройства мониторинга, которые монтируются на транспортные средства (общественный городской транспорт, на пригородные электрички, на поезда дальнего следования). Энергоснабжение устройства мониторинга осуществляется от транспортного средства или от встроенного в устройство аккумулятора.

В связи с тем, что предлагается использовать уже готовую инфраструктуру связи и электроснабжения, необходимые затраты ресурсов на разработку, ввод в действие и обеспечение функционирования системы в целом будут минимальны.

Были предложены основные требования к конструкции автоматизированных устройств мониторинга, позволяющие эффективно осуществлять непрерывный дистанционный контроль любого источника антропогенного воздействия на окружающую среду с минимальными затратами.

Для создания полной картины состояния окружающей среды, для определения нестандартных химических загрязнений, например диоксинов, для максимально точного анализа, для калибровки измерительных модулей устройств мониторинга, используемых в данной системе, необходимо лабораторное оборудование, сочетающее в себе высокие аналитические характеристики с малыми габаритами и массой. Компактность прибора позволит использовать его в составе стационарного поста дистанционного экологического мониторинга. На основе всестороннего анализа наиболее подходящей лабораторной аппаратурой для экотетрии автором признаны масс-спектрометры.

В рамках предлагаемой концептуальной модели АСЭМ, сигналы с датчиков и анализаторов поступают на вход промышленного контроллера сотовой или спутниковой связи. Контроллер передает SMS-сообщения со значениями, измеренными датчиками, газоанализатором и другими приборами, а также сообщения о превышении предельно допустимых концентраций (ПДК) пользователям системы по заданным номерам телефонов (на мобильный телефон оперативного технологического персонала, на Центральный пульт системы, на станцию дежурного техника).

Сервис обработки, хранения и предоставления информации реализуется в виде центрального контрольного пульта 4, в котором формируется общая база и промежуточных автоматизированных рабочих мест пользователей различного уровня 5.

Таким образом, для создания эффективной региональной системы экологического мониторинга, требуется провести ряд организационных мероприятий. Бюджетное финансирование сводится к внедрению на уже имеющиеся пункты промышленного мониторинга блоков экологического мониторинга и созданию «верхнего уровня» системы (АРМа диспетчера системы экологического мониторинга).

Выполненные расчеты комплексного критерия, включающего показатели надежности функционирования процесса обработки данных, экономической эффективности системы, совершенства системотехнической и функциональной частей, свидетельствуют о высоком научно-техническом уровне предложенной концепции разрабатываемой системы дистанционного мониторинга состояния НПТГ.



Практическая реализация методики оптимизации размещения элементов системы выполнена на примере размещения пунктов наблюдения на территории НПТГ г. Зеленограда по загрязнению только угарным газом (СО). Выбрано 9 стационарных условно точечных источников, в качестве которых выступают регулируемые перекрестки. Нанесем на карту города сетку 16x16 с шагом 10 условных единиц и началом координат между выездами на Пятницкое шоссе (рисунок 3).

Данные о силе и направлении ветра в различные сезоны года, необходимые для усреднения концентрации, а также все климатические характеристики и необходимые коэффициенты были взяты из Общегеографического атласа «Москва, Московская область».

Для расчета  $A_{ij}$  были использованы следующие исходные данные:

1. Средняя скорость ветра  $u = 5$  м/с;
2. Коэффициент зависимости интенсивности турбулентного обмена от высоты  $k = 0,2$ ;
3. Параметр степенного изменения скорости ветра с высотой  $p = 0,143$ ;
4. Угол между осью  $OX$  рабочей системы координат и вектором скорости ветра  $\beta = 135^\circ$ ;
5. Дисперсия направления скорости ветра  $\varphi = 10^\circ$ ;
6. Пороговое значение, параметр видимости источника в зоне с координатами  $(x_{ij}, y_{ij})$   $\delta = 0,01$  мг/м<sup>3</sup>;
7. Высота источников загрязнения  $H = 0,5$  м;
8. Минимальное число планируемых пунктов наблюдения  $M = 4$  штуки.
9. Мощность точечных источников:

| № источника     | И 1    | И 2    | И 3  | И 4   | И 5  | И 6    | И 7   | И 8  | И 9   |
|-----------------|--------|--------|------|-------|------|--------|-------|------|-------|
| Мощность, г/мин | 112,34 | 156,47 | 22,8 | 34,22 | 95,6 | 136,44 | 34,16 | 29,3 | 61,11 |

Мощность точечных источников была определена по методике расчета выбросов автотранспорта в районе регулируемого перекрестка. Исходные данные для расчета были получены в результате натурных обследований структуры и интенсивности автотранспортных потоков на основных магистралях города. Полученные расчетные данные не противоречили результатам замеров газоанализатором *Oldham MX-4*.

Расчет числа источников, «наблюдаемых» из центра каждой зоны проводился в Microsoft Office Excel 2010 с помощью стандартных функций. Рассчитанные величины  $A_{ij}$  для предложенной области приведены на рисунке 4.

Если количество размещаемых пунктов равно 1, то, как видно из рисунка 4, наиболее выгодно разместить его в зоне с координатами (85, 115), где число наблюдаемых источников максимально и равно 7. При этом целевая функция будет максимальной. При размещении второго пункта наблюдения подбираем зону с максимальным  $A_{ij}$  среди оставшихся незанятыми.

Учет условия (9) легко может быть выполнен, если вместе с зоной, занятой первым пунктом, мы будем считать «занятыми» также все зоны в радиусе  $R$  вокруг него. При размещении второго и последующих пунктов наблюдения в незанятой зоне с наибольшим  $A_{ij}$  может оказаться, что таких зон несколько.

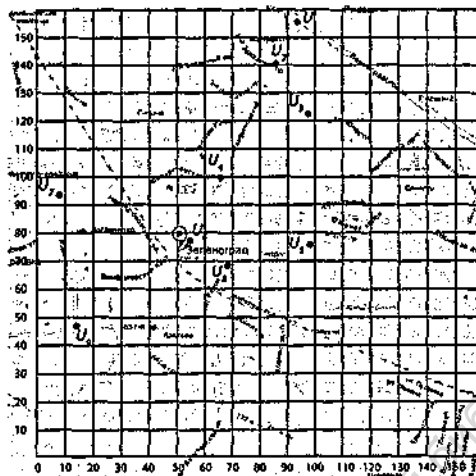


Рисунок 3 – Расположение точечных источников выбросов  $SO_2$  на территории г. Зеленограда

|     |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|-----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 155 | 0 | 0  | 1  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1   |
| 145 | 0 | 1  | 1  | 1  | 3  | 3  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1   |
| 135 | 0 | 1  | 1  | 2  | 2  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3   | 2   | 2   | 1   | 1   |     |
| 125 | 0 | 0  | 2  | 2  | 2  | 3  | 4  | 5  | 4  | 4  | 4   | 3   | 3   | 1   | 0   |     |
| 115 | 1 | 2  | 1  | 2  | 3  | 3  | 3  | 6  | 7  | 5  | 4   | 4   | 1   | 1   | 0   |     |
| 105 | 2 | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 4  | 5  | 6  | 4   | 2   | 2   | 0   | 0   |     |
| 95  | 2 | 2  | 2  | 3  | 2  | 5  | 5  | 5  | 4  | 5  | 3   | 2   | 1   | 1   | 0   |     |
| 85  | 3 | 3  | 2  | 2  | 5  | 4  | 4  | 5  | 5  | 4  | 3   | 2   | 1   | 1   | 0   |     |
| 75  | 3 | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 5  | 5  | 4  | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   |     |
| 65  | 3 | 3  | 3  | 4  | 3  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  | 2   | 1   | 1   | 1   | 0   |     |
| 55  | 3 | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   |     |
| 45  | 2 | 3  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 2  | 1  | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   |     |
| 35  | 1 | 1  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   |     |
| 25  | 1 | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |     |
| 15  | 1 | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     |
| 5   | 1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     |
|     | 5 | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | 75 | 85 | 95 | 105 | 115 | 125 | 135 | 145 | 155 |

Рисунок 4 – Распределение видности источников  $A_{ij}$ . Цифры показывают количество источников, наблюдаемых из каждой зоны

Для однозначного выбора очередного пункта наблюдения используем информацию о среднем уровне загрязнения (рисунок 5). Расчет полей концентраций вредных веществ в атмосфере без учета влияния застройки проведен в соответствии с ОНД-86 для точечных источников.

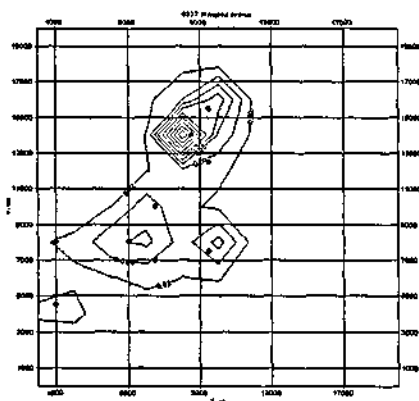


Рисунок 5 - Распределение среднегодового загрязнения CO от регулируемых перекрестков в г. Зеленограде

В случае равенства чисел видности  $A_{ij}$  естественно выбрать для размещения пункта наблюдения зону с большим уровнем загрязнения. Интересно отметить, что области максимальной средней концентрации не совпадают с областями максимальной видности источников, что наглядно иллюстрирует различие пространственно-репрезентативного и контрольного принципов построения сети станций слежения.

На рисунке 6 показаны результаты работы описанного выше алгоритма с учетом уровня загрязнения и инфраструктуры территории: наличие электричества, каналов связи и легкость обслуживания постов, а также  $R=15$  условных единиц.

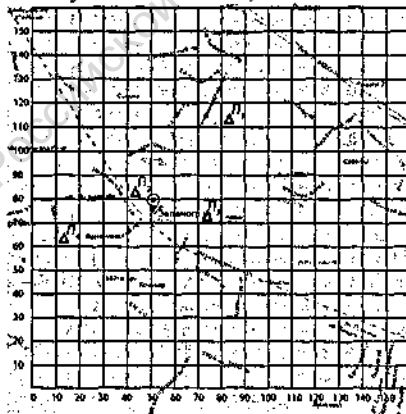


Рисунок 6 - Пример оптимального размещения 4 пунктов наблюдения на контролируемой территории (отмечены треугольниками) при  $R = 15$  условных единиц

Базовые посты экологического мониторинга предлагается разместить в зонах со следующими координатами:

П1 (85; 115) – на пересечении ул. Летчика Полагушина и Березовой аллеи;

П2 (45; 85) – выезд с ул. Панфилова на ул. Гоголя;

ПЗ (75; 75) – на пересечении Солнечной аллеи и ул. Радио;

П4 (15; 65) – на пересечении Панфиловского проспекта с ул. Андреевка.

Предложенная методика оптимизации дает возможность добавлять новые наблюдательные пункты без изменения расположения уже найденных.

Расчёт надежности автоматизированного устройства дистанционного экологического мониторинга показал следующие результаты:

1. Нарботка на отказ устройства – 7989 ч;
2. Вероятность безотказной работы устройства за 24 ч. – 0,9994;
3. Среднее время восстановления устройства – 0,3 ч.;
4. Коэффициент готовности устройства – 0,9999.

Основной фактор, снижающий надежность устройства – высокая влажность окружающей среды. Для повышения надежности устройства, следует усилить герметичность его корпуса.

Расчёт надежности и ремонтпригодности предлагаемой АСЭМ в целом показал:

1. Коэффициент эффективности системы – 0,994;
2. Средняя наработка до отказа системы при условии экспоненциального распределения времени безотказной работы равна 4405 часов;
3. Вероятность безотказной работы за 24 часа работы – 0,995;
4. Вероятность безотказной работы за 720 часов работы – 0,837;
5. Эквивалентная интенсивность отказов при работе элементов не все время, а с некоторыми периодами  $t_i$  или с различной нагрузкой в разные интервалы времени –  $56,75 \cdot 10^{-6}$ ;
6. Средняя наработка до отказа системы при условии экспоненциального распределения времени безотказной работы – 17621 часов;
7. Вероятность безотказной работы системы за 24 часа – 0,9986;
8. Вероятность безотказной работы системы за 720 часов – 0,9591;
9. Среднее время восстановления системы – 0,75 ч;
10. Коэффициент готовности системы – 0,998.

Расчет вероятности возможных происшествий методом анализа «дерева происшествия» показал, что происшествие «неполная информация» в среднем произойдет один раз в год, что в рамках количества передаваемой информации и ее дублирования допустимо.

Глава четвертая посвящена инструментальной реализации уровней предлагаемой системы дистанционного мониторинга.

Сервис сбора первичной информации реализуется с помощью стационарных и мобильных постов мониторинга, в качестве которых выступают разработанные автором автоматизированные устройства дистанционного мониторинга.

В результате анализа технико-экономических характеристик измерительной аппаратуры (диапазон измерения, чувствительность, время анализа, погрешность измерений и т.п.) для пилотного образца устройства дистанционного мониторинга были выбраны для контроля газов CO и CH<sub>4</sub> электрохимические датчики производства MONOX и Figaro, для измерения температуры и атмосферного давления датчик SCP1000 от компании VTI Technologies, для измерения относительной влажности емкостные датчики Honeywell.

Структурная схема предлагаемого устройства (рисунок 7) включает блок бесперебойного питания, измерительную ячейку, блок управления и связи, антенну, блок сопряжения с внешними устройствами и датчиков.

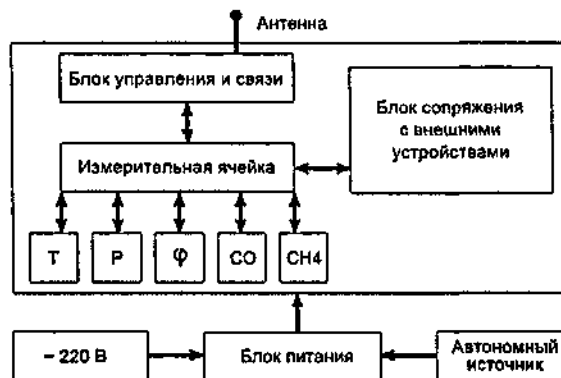


Рисунок 7 - Структурная схема устройства автоматизированного дистанционного мониторинга окружающей среды

Основа устройства мониторинга - измерительная ячейка на базе микроконтроллера ATMEL. Разработанная электрическая принципиальная схема устройства в среде PCAD и структурная схема позволили создать в виртуальной среде MatLab Simulink макет устройства и смоделировать режимы его работы:

1. непрерывные автоматические замеры, с передачей информации на автоматизированное рабочее место после каждого замера;
2. непрерывные автоматические замеры, информация накапливается в запоминающем устройстве в течение заданного времени, по прошествии которого отправляется на автоматизированное рабочее место;
3. автоматические измерения в заданные промежутки времени, с передачей информации на автоматизированное рабочее место после каждого замера;
4. измерения производятся и передаются при поступлении запроса от оператора диспетчерского пункта;
5. непрерывные автоматические замеры, при превышении пороговых значений измеряемых параметров происходит аварийное предупреждение диспетчера.

Измерительная ячейка прошла испытания в различных условиях окружающей среды, зарегистрирована в Госреестре средств измерений (№ 40058-08) и допущена к применению в Российской Федерации. Определены следующие условия эксплуатации устройства: температура среды – от (-20) до (+50)°C; относительная влажность воздуха – от 15 до 98 %; запыленность среды – не более 1мг/м<sup>3</sup>.

Пилотный образец устройства мониторинга в составе поста наблюдения (рисунок 8) установлен в открытом пространстве на высоте 1,5-2,5 м от поверхности земли, что позволяет измерять как ингредиентные, так и физические загрязнения. Информация с датчиков через аналого-цифровой преобразователь передается на блок управления и связи и далее по сотовой связи в концентратор данных на главный диспетчерский пункт. Благодаря блоку сопряжения с внешними устройствами, содержащему COM-порт, USB-порт, Bluetooth, Wi-Fi, есть возможность подключения к устройствам регистрации, запоминающим устройствам и/или к персональному компьютеру. Модульная конструкция позволяет настроить прибор на решение различных задач и дает возможность расширить или изменить сферу применения прибора за счет подключения дополнительных модулей с помощью технологии «Plug&Play».

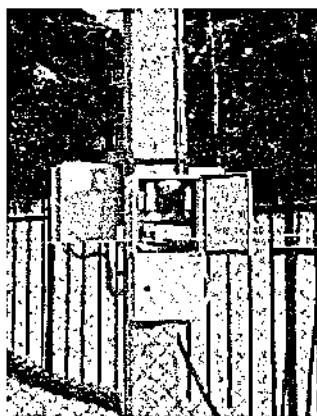


Рисунок 8 – Стационарный  
пост наблюдения

В настоящее время испытывается также энергонезависимая модификация устройства, отличающаяся наличием солнечной батареи и возможностью уходить в «спящий» режим.

Все модификации разработанного устройства оптимально подходят для непрерывных измерений концентраций стандартных веществ, физического загрязнения и метеопараметров. Но для определения своеобразных химических загрязнений, повышения точности анализа, калибровки измерительных модулей, необходимо лабораторное оборудование, сочетающее в себе высокие аналитические характеристики с малыми габаритами и массой.

Для этих целей предлагается использовать монополярный масс-спектрометр, в котором V-образный электрод модернизирован в гиперболический. Использование детектора ионов на основе цилиндра Фарадея позволило создать компактный, автономный, монополярный масс-спектрометр высокой чувствительности для работы вне лабораторий. Спроектирована и реализована система отбора проб в удаленных и труднодоступных местах с расчетным временем подготовки пробы - 17 минут.

Сервис передачи данных в предлагаемой системе реализован с помощью модуля управления и связи, предназначенного для передачи полученных данных и управления стационарными и мобильными постами дистанционного мониторинга окружающей среды. Данный модуль обрабатывает информацию с блока измерения и индикации устройства мониторинга и блока управления монополярного масс-спектрометра и решает задачу передачи данных стандарта EGSM900/GSM1800, дистанционного управления режимами работы устройств, а также дает возможность использования устройства управления через USB-интерфейс. В качестве канала связи используется беспроводная сеть передачи данных стандарта EGSM900/GSM1800 (по протоколу передачи данных GPRS со скоростью 20 кбит/с), выбранная из-за широкого распространения на территории РФ и других стран.

Устройства дистанционного мониторинга, которые используются в мобильных постах, снабжены модулями GPS (ГЛОНАСС), которые позволяют в любом месте планеты, при любой погоде, определить местоположение и скорость объектов. Данный модуль дает возможность оператору получить с мобильного поста не только

измеренные параметры, но и точное местоположение мобильного поста во время проведения замеров.

Сервис обработки, хранения и предоставления данных на различном уровне реализуется в виде промежуточных автоматизированных рабочих мест (АРМ) пользователей и центрального пункта мониторинга, в котором формируется общая база. В качестве платформы общей базы данных о состоянии окружающей среды используется серверная СУБД, при администрировании которой регламентируется доступ пользователей к концентратору данных (КД).

Блок управления и связи КД обеспечивает прием запросов от АРМ системного администратора и пользователей на получение информации о состоянии окружающей среды, проводным (по каналам RS-485, Ethernet) и беспроводным (Wi-Fi, GSM/GPRS) способом, используя установленную антенну, анализирует корректность запроса и обеспечивает предоставление информации из базы данных в зависимости от уровня доступа пользователя.

Программное обеспечение АРМ состоит из стандартного лицензионного программного обеспечения (Windows XP, Microsoft Office и т.п.) с обязательным выходом в сеть (корпоративную или Интернет) и специального программного обеспечения ASEMZEL, разработанного на кафедре промышленной экологии МИЭТ совместно со специалистами ООО «ПАРСЕК».

В окне программы «Общие данные» (рисунок 9) содержатся данные о дате и времени последних измерений, перечень доступных пользователю постов мониторинга, с возможностью управления отображения их на картографической подложке.

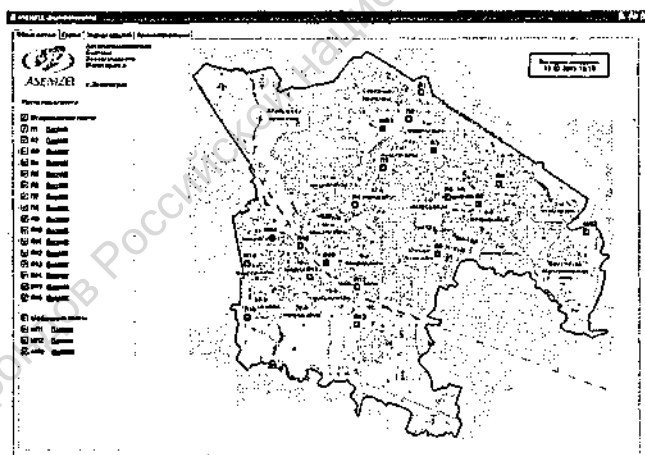


Рисунок 9 - Окно программы ASEMZEL «Общие данные»

Посты экологического мониторинга, для пространственного анализа и удобства управления, с помощью ГИС-приложений отображаются на карте контролируемого региона. Используя различные инструменты навигации, легко определяется положение постов наблюдения и других объектов. Средствами приложения возможно редактировать мониторинговые точки; найти подробную информацию о выделенном посте из его справочника, а также проследить динамику изменения определенного параметра качества окружающей среды.

Зеленый цвет пиктограмм постов мониторинга означает, что превышений в данном районе не зарегистрировано и сам пост исправен. Красный цвет пиктограмм постов мониторинга означает, что в данном районе есть превышения заданных значений измеряемых параметров. Серая пиктограмма говорит о том, что пост мониторинга не исправен. Все превышения и неисправности заносятся в Журнал событий.

Программа ASEMZEL позволяет сортировать данные из архива по различным параметрам, а визуализируется в виде таблиц, графиков или диаграмм. Каждый пост имеет паспорт, содержащий информацию об адресе расположения поста, о дате и времени последних измерений, о температуре внутри устройства мониторинга, о том, какие параметры и какими датчиками измеряются.

Помимо этого, паспорт поста содержит интерфейс дистанционного управления устройствами мониторинга. В настоящее время программа ASEMZEL проходит опытную эксплуатацию и работает только при установке ее на компьютер пользователя. В дальнейшем предполагается расширить функционал программы, сделать более удобный и интуитивно понятный интерфейс, а также разместить программу на сайте в Интернете.

#### Заключение

В условиях наукоемкой природно-технической геосистемы объективная информация о качестве компонентов природного комплекса как источнике технологических сред для предприятий становится одним из важных приоритетов в обеспечении их успешной деятельности. Источником такой информации является автоматизированная система экологического мониторинга (АСЭМ), комплексному подходу по разработке концептуальной модели, методологических принципов построения и технической реализации элементов которой посвящено диссертационное исследование.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие общие выводы:

1. Разработанная унифицированная методология полностью охватывает процесс создания АСЭМ, т.е. обоснование необходимости внедрения системы мониторинга на территории; формирование требований, разработку концептуальной модели и технического проекта системы; оценку научно-технического уровня проекта; оптимизацию расположения элементов системы; научно-методологическое обоснование состоятельности проекта; а также включает этап рекомендаций по внедрению системы.
2. Целесообразность внедрения конкретной АСЭМ на территории НПТГ обуславливается фоновым экологическим состоянием, экологической ситуацией и значимостью состояния атмосферного воздуха, почвы, водных объектов, плотностью населения на территории НПТГ, количеством и классом опасности предприятий, функционирующих в регионе, составом и структурой транспортного комплекса НПТГ, а также хозяйственной нагрузкой на рассматриваемой территории. Результаты расчета критерия необходимости систем экологического мониторинга свидетельствуют о том, что на территории НПТГ г. Зеленограда рекомендуется внедрить автоматизированную систему экологического мониторинга, осуществляющую регулярный (каждый час) и «летучий» контроль состояния окружающей среды.
3. Выполненные расчеты комплексного показателя уровня предложенной концептуальной модели автоматизированной системы дистанционного мониторинга



окружающей среды, состоящая из сервиса сбора первичных данных (стационарные и мобильные контрольные посты), сервиса передачи информации (прямая и обратная связь на базе глобальных каналов сотовой связи GSM, GPRS, CDMA, все стандарты 3G), сервиса обработки, хранения и представления информации (центральный контрольный пульт с общей базой данных) для пользователей различного уровня, свидетельствуют о высоком научно-техническом уровне разработанной системы.

4. Оптимизация размещения постов контроля основывается на отыскании глобального максимума некоторой целевой функции и содержит всего два свободных параметра. При достаточно простом алгоритме положение всех пунктов наблюдения выбирается одновременно из соображений максимального охвата источников загрязнения, что ориентирует задачу на максимальную информативность и позволяет рекомендовать методику для использования при планировании автоматизированной системы экологического мониторинга для НПТГ. Используя предложенный алгоритм, были выбраны места для базовых стационарных постов мониторинга в г. Зеленограде.

5. Сервис сбора первичной информации реализуется с помощью стационарных и мобильных постов мониторинга, в качестве которых выступают автоматизированные устройства дистанционного мониторинга, успешно прошедшие полевые испытания. Основа устройств мониторинга – измерительная ячейка на базе микроконтроллера ATME1, зарегистрированная в Государственном реестре средств измерений под № 40058-08.

6. Для повышения информативности АСЭМ и калибровки измерительных ячеек автоматизированных устройств дистанционного мониторинга предлагается использовать монополярный масс-спектрометр, в котором V-образный электрод модернизирован в гиперболический. Использование детектора ионов на основе цилиндра Фарадея позволило создать компактный, автономный масс-спектрометр высокой чувствительности для работы вне лабораторий. Спроектирована и реализована система отбора проб в удаленных и труднодоступных местах.

7. Сервис передачи данных реализован с помощью модуля управления и связи, предназначенного для передачи полученных данных, управления стационарными и мобильными постами дистанционного мониторинга окружающей среды и за сопряжение с каналом связи - беспроводной сетью передачи данных стандарта EGSM900/GSM1800. Высококачественный и высокоскоростной канал связи обладает широкой территорией распространения, а GPS-модули, встроенные в мобильные посты мониторинга, дают информацию не только об измеряемых параметрах, но и о координатах мобильного поста.


8. Сервис обработки, хранения и предоставления данных на различном уровне реализуется в виде промежуточных автоматизированных рабочих мест (АРМ) пользователей и центрального пункта мониторинга, в котором формируется общая база, формируемая за счет поступающей измеренной информации и репликации данных между постами мониторинга и АРМ пользователей различного уровня доступа.

9. Результаты работы нашли внедрение в учебном процессе, а также при проектировании и инструментальной реализации систем коррозионного мониторинга магистральных трубопроводов ОАО «Газпром». На предлагаемую АСЭМ и ряд решений, использованных в ее составе, были получены патенты. В дальнейшем разработанную методологию планируется применять при создании автоматизированных систем экологического мониторинга промышленных и хозяйственных объектов в различных регионах страны.

Основные результаты опубликованы в работах

1. Попова Н.В. Проблемы полихлорированных дибензо-п-диоксинов в биосфере, предложения по их решению. // Микроэлектроника и информатика-2005: Тез. докл. - М.: МИЭТ, 2005. - С. 366.
2. Попова Н.В. Разработка экспресс-методов определения концентрации парниковых газов. // Микроэлектроника и информатика-2007: Тез. докл., -М.: МИЭТ, 2007. - С. 378.
3. Попова Н.В. Анализ применимости монополярного масс-спектрометра в системе экологического мониторинга. // Методы и средства экологического мониторинга производств электронной техники. Сборник научных трудов под редакцией В.И. Каракеяна. -М.: МИЭТ, 2006. - С. 167-174.
4. Патент РФ на полезную модель № 63808, МКИ: С 23 F 13/22. Система электрохимической защиты удаленного коррозионного и экологического мониторинга/ Будзуляк Б.В., Петров Н.Г., Нестеров В.А., Жаров В.В., Ивченков А.О., Попова Н.В. Заявка № 2007103150. Приоритет полезной модели 29 января 2007г. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 10 июня 2007.
5. Каракеян В.И., Жаров В.В., Ивченков А.О., Трегулов В.В., Попова Н.В.. Применение детектора ионов на основе цилиндра Фарадея в портативных газоанализаторах на основе квадрупольных масс-спектрометров. // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России, № 3, 2007. - С. 109-111.
6. Каракеян В.И., Жаров В.В., Попова Н.В., Ивченков А.О. Преимущества использования монополярного масс-спектрометра для мониторинга окружающей среды. // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России, № 3, 2007. - С. 112-114.
7. Каракеян В.И., Жаров В.В., Ивченков А.О., Попова Н.В. Масс-спектрометр для окружающей среды. // Экология и промышленность России. №7, 2007. -С. 16-17.
8. Каракеян В.И., Жаров В.В., Ивченков А.О., Попова Н.В. Использование квадрупольного масс-спектрометра с детектором ионов на основе цилиндра Фарадея для мониторинга окружающей среды. // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. № 4, 2007. - С. 85-88.
9. Патент РФ на полезную модель № 68714, МКИ: 7G 01 W 1/00. Устройство для автоматизированного дистанционного мониторинга окружающей среды. / Нестеров В.А., Жаров В.В., Жаров Д.В., Ивченков А.О., Кирюхин В.Н., Макеева М.А., Попова Н.В. Заявка № 2007128593. Приоритет полезной модели 26 июля 2007. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 27 ноября 2007.
10. Королев Ю.А., Жаров В.В., Жаров Д.В., Нестеров В.А., Попова Н.В. Система электрохимической защиты и коррозионного мониторинга, реализованная на базе стандартов сотовой связи. // Материалы конференций в рамках выставки «Газовая промышленность России. Актуальные аспекты-2007» GasSUF-2007. -М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2008. - С. 146-149.
11. Попова Н.В. Разработка широкомасштабной системы автоматизированного дистанционного мониторинга окружающей среды. // Методы и средства экологического мониторинга и контроля систем качества производств электронной техники. Сборник научных трудов под редакцией В.И. Каракеяна. -М.: МИЭТ, 2008. - С. 111-117.
12. Патент РФ на полезную модель № 72335, МКИ: G 01 W 1/00. Система автоматизированного дистанционного мониторинга окружающей среды. /

- Нестеров В.А., Жаров В.В., Попова Н.В., Жаров Д.В., Устинова Е.В. Заявка № 2007147578. Приоритет полезной модели 24 декабря 2007. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 10 апреля 2008.
13. Попова Н.В. Методология создания автоматизированной системы экологического мониторинга. // Микроэлектроника и информатика-2008: Тез. докл. -М.: МИЭТ, 2008. - С. 299.
14. Патент РФ на полезную модель № 78334, МКИ: 7G 01 W 1/00. Энергонезависимое устройство для автоматизированного дистанционного мониторинга окружающей среды. / Жаров В.В., Жаров Д.В., Попова Н.В., Устинова Е.В. Заявка № 2008125217/22 (030578) от 24.06.2008. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 20 ноября 2008.
15. Патент РФ на полезную модель № 90215. МКИ: G 01 W 1/06. Автоматизированное устройство диагностики состояния подземных металлических сооружений / Петров Н.Г., Жаров В.В., Жаров Д.В., Юшманов В.Н., Попова Н.В. Приоритет полезной модели 27 августа 2009. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 27 декабря 2009.
16. Попова Н.В., Попова О.В. Приборная реализация автоматизированного устройства дистанционного экологического мониторинга. // Технико-экологические проблемы наукоемких производств: Межвузовский сборник научных трудов под редакцией В.И. Каракеяна. -М.: МИЭТ, 2010. - С. 176-181.
17. Патент РФ на полезную модель № 99196, МКИ: G 01 W 1/06. Автоматизированная система управления данными экологического мониторинга/ Жаров В.В., Жаров Д.В., Попова Н.В., Устинова Е.В. Заявка № 2010115776/28. Приоритет полезной модели 21 апреля 2010г. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 10 апреля 2010.
18. Каракеян В.И., Жаров В.В., Попова Н.В., Попова О.В., Устинова Е.В. Автоматизированная система дистанционного мониторинга окружающей среды г. Зеленограда. // Экология и промышленность России, №9, 2011. -С. 10-13.
19. Попова Н.В., Попова О.В. Методика оптимизации размещения постов экологического мониторинга на территории ПТГ. // Методы и средства контроля объектов природно-технических геосистем. Сборник научных трудов под редакцией В.И. Каракеяна. -М.: МИЭТ, 2011. - С. 117-127.



Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ № 25.

Отпечатано в типографии ИПК МИЭТ.  
124498, Москва, Зеленоград, проезд 4806, д.5, МИЭТ.



Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

2012A  
13439

12 - 13439

Из фондов Российской национальной библиотеки