

УДК 661.92

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ АММИАКА В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

© 2024 А.В. Васильев, Б.С. Голубев

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 01.08.2024

Проблема загрязнения воздушного бассейна в условиях урбанизированных территорий становится всё более актуальной. В настоящей статье рассмотрены общие подходы к инвентаризации выбросов вредных веществ в атмосферу, особенности мониторинга выбросов аммиака. Методы и средства мониторинга выбросов аммиака можно разделить на три группы: химико-аналитические методы, инструментальные методы, методы с сенсорных технологий. Проведены их систематизация и определены технические возможности эксплуатации. Проведенные исследования показали, что наиболее перспективным является использование автоматизированных систем мониторинга выбросов аммиака на основе сенсорных технологий электрохимического действия.

*Ключевые слова:* выбросы, атмосфера, загрязняющие вещества, аммиак, воздействие, мониторинг.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-194-201

EDN: GRQUUX

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №FSSE-2023-0003) в рамках государственного задания Самарского государственного технического университета*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях проблема загрязнения атмосферного воздуха является всё более актуальной [1-4, 8, 9]. Аммиак является одним из химических соединений, с одной стороны, играющих основную роль в биогеохимических циклах, с другой стороны, связанных с рисками негативного воздействия на окружающую среду как на локальном, так и на региональном и глобальном уровнях. Аммиак обладает раздражающим, нейротоксическим действием. При попадании на кожу, слизистые вызывает химический ожог. При ингаляционном воздействии наблюдается слезоточивость, ощущение сухости в носу, раздражение слизистых оболочек носа, глотки, трахеи, спазм век. При сильном отравлении может наступить острая сердечно-сосудистая недостаточность и остановка дыхания.

Среди региональных эффектов воздействия аммиака можно выделить, например, выпадения восстановленного (аммонийного) азота, являющихся частью нагрузок азота на экосистемы и вызывающих нарушение баланса питательных веществ и изменение видового состава растительности.

К числу глобальных эффектов воздействия аммиака относятся формирование вторичного

аэрозоля и влияние на климат. Таким образом, высокие концентрации аммиака в атмосферных осадках могут привести к закислению природной среды, которое, в свою очередь, может вызвать глобальные изменения в окружающей среде. Несмотря на то, что редкие выбросы аммиака приводят к краткосрочной нейтрализации атмосферных осадков, в долгосрочной перспективе они могут выступить причиной отсроченного закисления водных объектов, которое сопоставимо с влиянием таких кислотообразующих газов, как оксиды азота и диоксид серы [1].

Проведенный авторами анализ показывает, что большая часть крупных техногенных аварий, произошедших за последние 20 лет на химических предприятиях России и за рубежом, связаны с отравлениями, вызванными аммиаком.

В настоящей статье рассмотрен аммиак как загрязняющее вещество, систематизированы методы и средства его мониторинга.

### 2. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ. ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ АММИАКА

Объекты, оказывающие прямое и косвенное воздействия на окружающую среду, обязаны проводить инвентаризацию выбросов в атмосферу на основании Федерального закона № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха». Данный закон регламентирует порядок разработки и утверждения методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух. Инвентаризация выбросов вредных веществ в

*Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, директор Поволжского ресурсного центра инженерной экологии и химической технологии Самарского государственного технического университета. E-mail: vasilyev.av@samgtu.ru*

*Голубев Богдан Сергеевич, магистрант кафедры «Химическая технология и промышленная экология». E-mail: ecology@samgtu.ru*

атмосферный воздух — это процесс систематического сбора, оценки и анализа данных об источниках, объемах и характере выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Эта информация необходима для разработки и реализации эффективных мер по контролю загрязнения воздуха, а также для анализа состояния и определения приоритетных направлений защиты окружающей среды. Работы по инвентаризации выбросов можно подразделить на следующие этапы [5]:

1. Определение цели и области применения: на этом этапе определяется, какие виды выбросов и в какой географической области будут изучаться, а также устанавливаются критерии оценки результатов инвентаризации.

2. Выбор методологии: на этом этапе выбирается методология, которая будет использоваться для оценки выбросов.

3. Устанавливаются типы, виды наименования и геометрические характеристики источников загрязнения атмосферного воздуха (ИЗАВ).

4. Определяются координаты стационарных ИЗАВ.

5. Сбор и анализ данных: на этом этапе собираются данные о выбросах от различных источников, а также анализируются данные о концентрациях вредных веществ в атмосфере. Данные могут быть получены из официальных отчетов предприятий, результатов мониторинга и других источников информации.

6. Оценка объемов выбросов: на этом этапе оценивается количество выбросов от каждого источника. Это может быть сделано с помощью моделирования или на основе данных, полученных от источников выбросов.

7. Определение характера выбросов: на этом этапе определяются качественные и количественные характеристики выбросов.

8. Оценка воздействия выбросов: на этом этапе оценивается воздействие выбросов на окружающую среду в целом и на здоровье человека в частности. Это может быть сделано с помощью моделирования или на основе данных мониторинга.

9. Проверка результатов: на этом этапе происходит проверка результатов инвентаризации, включая проверку соответствия стандартам и методологиям, а также оценку достоверности и полноты данных.

10. Документируются результаты и проводится заключение.

Высокоточный мониторинг выбросов аммиака от источника загрязнения на производстве имеет решающее значение для оценки общих выбросов и утечек в воздухе рабочей зоны, понимания механизма, лежащего в основе экологических проблем, связанных с аммиаком, и продвижения устойчивых ме-

тодов развития защиты окружающей среды и рабочего персонала. Однако разработка полевых методов мониторинга выбросов аммиака в сложных и изменчивых условиях всегда была серьезной проблемой, препятствующей точным данным по выбросам аммиака, необходимого для решения задач по снижению выбросов.

Методы и средства мониторинга выбросов аммиака, можно разделить на три группы: химико-аналитические методы, инструментальные методы, методы с сенсорных технологий. Проведем их систематизацию и определим технические возможности эксплуатации.

### 3. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ АММИАКА В АТМОСФЕРУ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

#### 3.1 Химико-аналитические методы

Методика анализа атмосферного воздуха с отбором пробы в барботеры, предназначенная для определения аммиака в диапазоне (0,01-2,5) мг/м<sup>3</sup> с суммарной погрешностью  $\pm 25\%$ , и методика анализа с отбором пробы на пленочный сорбент, предназначенная для определения аммиака в диапазоне 0,03-6,0 мг/м с суммарной погрешностью  $\pm 15\%$ , требуют объем пробы 40 дм<sup>3</sup> [6].

В качестве примера прибора, используемого для проведения химико-аналитических методов, на рис. 1 показан газонализатор Сирена-2.

Многие традиционные методы, такие как титрование, спектрофотометрия или хроматография, требуют значительного времени на пробоподготовку и непосредственно проведение измерений, что затрудняет оперативный контроль.

Необходимость больших объемов проб для проведения анализа традиционными химико-аналитическими методами требуются относительно большие объемы исследуемых образцов, что может вызвать трудности, для постоянного фонового мониторинга.

Основным недостатком методов данного типа является, что в большинстве данные устройства являются ручными, что говорит о невозможности создания автоматизированных систем мониторинга. Традиционные методики трудно поддаются автоматизации, что ограничивает возможности их использования в непрерывном мониторинге.

Такие приборы как спектрофотометры, хроматографы, являются дорогостоящим оборудованием. Кроме этого, правильное использование и интерпретация результатов традиционных методик требует высокой квалификации персонала.



Рисунок 1 – Газоанализатор Сирена-2

### 3.2 Инструментальные методы

Инструментальные методы применяются для организованных источников выбросов. При инструментальных измерениях используют только газоаналитические средства, которые предназначены для контроля промышленных выбросов и внесенные в Государственный реестр средств измерений. Согласно настоящему руководящему документу 52.04.791-2014 Росгидромет, инструментальным методом обнаружения массовой концентрации аммиака в атмосферном воздухе является фотометрический метод с салицилатом натрия.

Метод измерения основан на улавливании аммиака из воздуха пленочным хемосорбентом и дальнейшем его определении по окраске индофенола, образующегося при взаимодействии иона аммония с салицилатом натрия в присутствии гипохлорита и нитропруссиды натрия. Так же среди инструментальных методов существуют: оптико-акустический, оптический в ультрафиолетовой и инфракрасной области излучения света [6].

Данная группа методов не может быть использована для создания автоматизированной системы мониторинга. На предприятии или в цеху находятся, как правило, одна или две, в зависимости от объема помещения, такие установки, считывающие фоновый уровень концентрации аммиака, что делает невозможным оперативное получение информации о локальной утечке, что приводит к неизменному риску возникновения техногенной аварии на промышленных и сельскохозяйственных объектах, так же является достаточно сложной конструкцией, обладает высоким электропотреблением и стоимостью.

### 3.3 Сенсорные технологии

Приборы сенсорного типа – это микроэлектронное устройство, преобразующее изменение химического состава среды в оптический, частотный или электрический сигнал с унифици-

рованным выходным сигналом 4 - 20 мА. Квалифицируются датчики по принципам их работы – электрохимические; термохимические и термокаталитические сенсоры; полупроводниковые сенсоры; пьезокварцевые резонаторы объемного и поверхностного типов; оптические химические сенсоры пассивного и активного действия [6].

Электрохимические сенсоры представляют собой двух- или трехэлектродную систему, в основе работы которой лежит процесс диффузии газов в растворе электролита от одного электрода к другому через капиллярный барьер (пористую мембрану). Целевое вещество (газ) диффундирует через мембрану и достигает рабочего электрода. На рабочем электроде происходит электрохимическая реакция окисления или восстановления вещества. Возникающая разность потенциалов между электродами пропорциональна концентрации целевого вещества в газовой среде. Чувствительность всех электрохимических сенсоров зависит от температуры окружающей среды: выходной сигнал увеличивается при увеличении температуры. Это вызвано скоростью окислительной реакции на поверхности чувствительного электрода, дисперсностью газа в мембране и термоэффектами, связанными с подвижностью ионов в электролите [7].

Описанные сенсоры обладают рядом преимуществ – это модульность системы, которая позволяет создать полноценную автоматизированную систему мониторинга, что дает линейность показаний и быстродействие. Невысокая цена, по сравнению с альтернативными рассмотренными методами и малое энергопотребление. Построенная сеть подобных датчиков, позволяет покрыть любую площадь анализируемой территории и сузить сектор поиска и обнаружения локальных утечек.

Таким образом, наиболее перспективными являются сенсорные технологии электрохимического действия.

#### 4. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ АММИАКА НА ОСНОВЕ СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Основываясь на оценке риска и факторов развития чрезвычайных ситуаций при воздействии аммиака, на анализе нормативной документации в области охраны атмосферного и рабочего воздуха, на результатах сравнительного анализа современных методов мониторинга, можно выделить следующие требования к внедрению беспроводной автоматизированной системы мониторинга аммиака:

- Мобильность. Габариты и площади хранения пищевых продуктов могут со временем расширяться, для чего необходимо увеличивать площадь покрытия работы датчиков (системы), так же, появится опция мониторинга хранилищ в процессе заправки, и хранения. Малые габариты модулей детекции и автономный источник питания.

- Детекция. Сенсор должен быть электрохимического действия, так как является самым подходящим для аммиака. Граница обнаружения концентрации аммиака должна соответствовать ПДК или ниже.

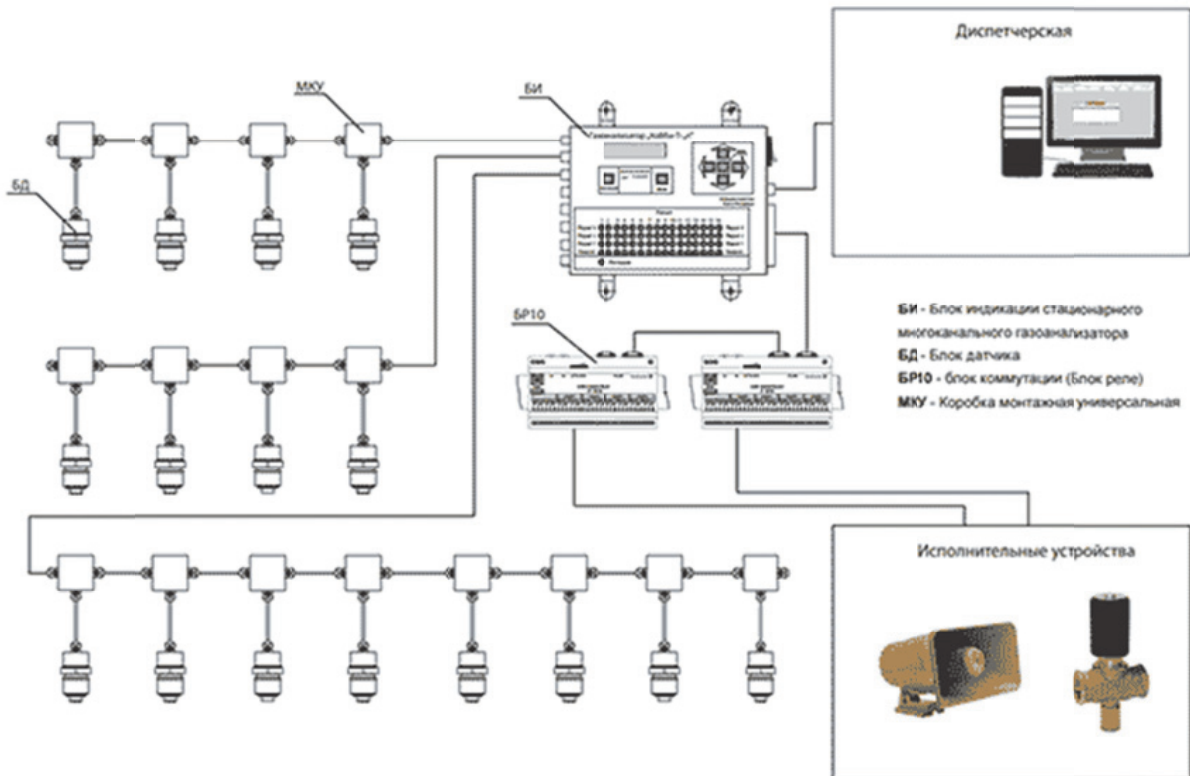
- Селективность, так как возможно содержание других газов в воздухе.

- Низкая погрешность измерения.  
 - Автоматизация отбора проб. Исключение человеческого фактора, непрерывность процесса.

Проводные системы мониторинга не являются новшеством, они являются обязательными для отраслей использующих/производящих взрывоопасные, токсичные, ядовитые вещества. Типичным современным представителем данной системы является многоканальный газоанализатор Хоббит-Т-ННЗ в исполнении для морозильных камер, типовая схема работы которого представлена на рисунке 2.

Первый порог срабатывания сигнализации по каналам не регулируемый и составляет 1 ПДК (20 мг/м<sup>3</sup>), второй и третий имеют диапазон настройки – 30-1500 мг/м<sup>3</sup> и 40-1500 мг/м<sup>3</sup> соответственно. В данной системе, допустимая погрешность измерений 25%, значение выше требует калибровки, рекомендуемая периодичность проверки 1 раз в три месяца.

Один блок измерения рассчитан на 16 подключенных датчиков, площадь покрытия одним датчиком составляет 150 м<sup>2</sup>, соответственно для покрытия рабочей площади предприятия АО «Самара-Айс» понадобится порядка 165 датчиков, и 11 блоков измерения, стоимость за один комплект (туда входит 1 БИ и 16 БД) 165000 рублей, соответственно стоимость покрытия всей рабочей площади предприятия составит 1 815 000 рублей, это без учета стоимости проклады-



БД – блок датчиков; БИ – блок индикации; БР10 – блок коммутации; МКУ – монтажная коробка универсальная

**Рисунок 2** – Типовая схема работы общепромышленного 16-ти канального стационарного газоанализатора аммиака Хоббит-Т-16ННЗ

вания и проектирования кабельной системы, настройки оборудования, трудозатрат и прочего.

В качестве примера беспроводной системы был выбран датчик ДГС ЭРИС-210 – это беспроводной одноканальный газоанализатор с автономным питанием и передачей данных по радиоканалу (рис. 3). Использование датчика данного типа позволяет обеспечивать безопасность в местах отсутствия инженерных сетей.

Беспроводной сигнал по протоколу LoRaWAN от датчиков принимает СГМ ЭРИС-130 – многоканальный контроллер (при необходимости усиления сигнала возможно подключение ретранслятора), максимальная дальность передачи сигнала по данному протоколу составляет 6000 метров в идеальных условиях (прямая видимость и полное отсутствие промышленных помех), в условиях помещения и плотной застройки 2000 метров. В датчике также устанавливаются три уровня пороговых значений объемной доли до взрывных концентраций горючих газов и паров горючих жидкостей, или массовой концентрации допустимых концентраций токсичных газов. Измерение концентрации происходит автоматически каждые 5 секунд работы, что дает низкую погрешность не более 5%. В отличие от проводных датчиков, здесь существуют возможность установления порога сигнализации от конкретно заданного минимального значения. На рис. 4 представлена одна из вариаций построения АСМ с использованием беспроводной сети.

Можно выделить основные преимущества использования беспроводной системы:

- Легкая масштабируемость. Подключение дополнительных приборов возможно в любой момент времени, без прокладки дополнительных систем энергоснабжения.

- Простота конфигурирования и управления.

- Интеграция в уже существующие системы без прокладки новых или добавочных кабелей, что позволяет модернизировать уже имеющиеся проводные системы без капитального строительства.

- Расширение зоны покрытия и исключение «мертвых зон» на предприятии, где ранее было затруднительно (или дорого) устанавливать проводные приборы.

- Контролирующие устройства оснащены светозвуковой сигнализацией.

- Экономия на кабельных линиях и трудозатратах по их монтажу.

- Меньший интервал измерения, дает низкую погрешность

Стоимость одного датчика составляет 22 500 рублей, контроллера – 85 000 рублей. Один датчик покрывает 250 м<sup>2</sup> анализируемой площади.

В таблице 1 указано сравнение стоимости проводной и беспроводной системы, а также время ввода в эксплуатацию.

Как видно из таблицы 1, стоимость беспроводной системы ниже на 167 500 рублей, но с течением срока эксплуатации данная разница

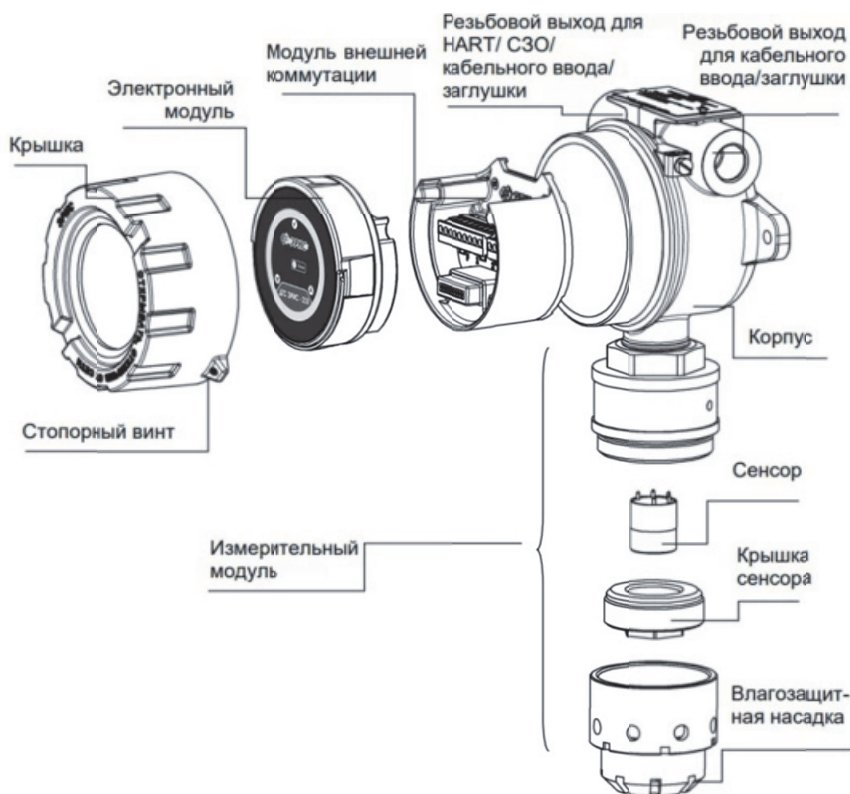
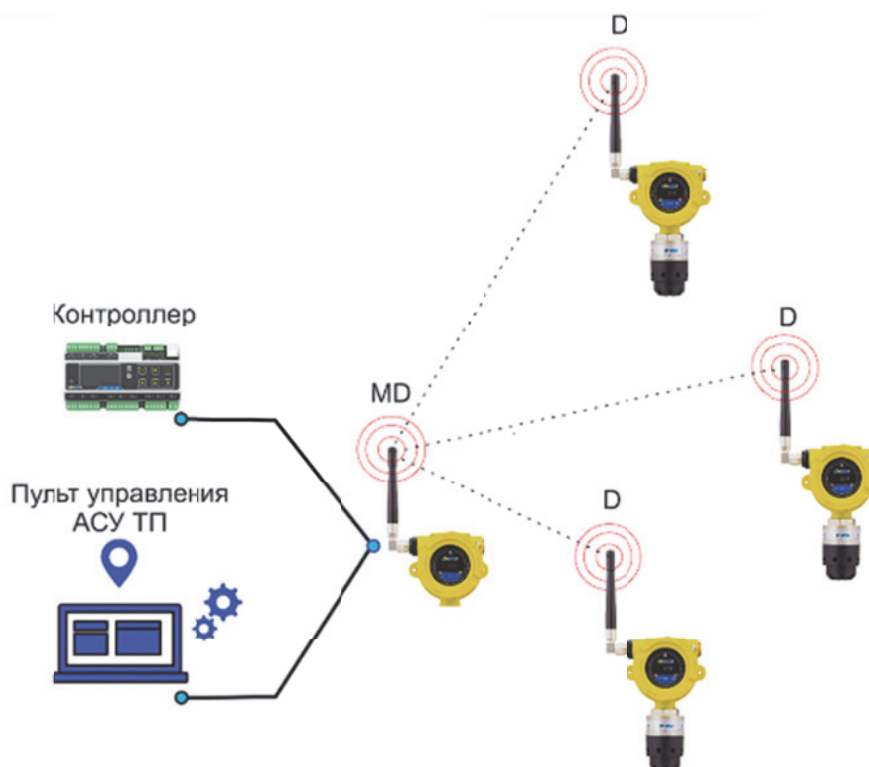


Рисунок 3 – Устройство ДГС ЭРИС-210



MD – Модем (максимальное подключение 80 датчиков); D – Датчик газоанализатор;  
 Черные линии – проводная связь по протоколу RS 458;  
 АСУ ТП – Автоматизированная система управления технологическим процессом

**Рисунок 4** – Схема работы беспроводной системы с модемом ДГС ЭРИС-210 исп. MD

**Таблица 1** – Сравнение стоимости проводной и беспроводной системы

Сравниваемые параметры	Проводное решение, тыс. руб.	Беспроводное, тыс.руб.
Стоимость основного оборудования	1815	2312,5
Работы по монтажу основного оборудования	39	34
Стоимость дополнительного оборудования и материалов (кабель, вводы, коробки и т.п.)	280	Не требуется
Стоимость работ по монтажу дополнительного оборудования	380	Не требуется
Время монтажа и ввода в эксплуатацию	10-20 дней	5-6 дней
Итого	2514	2346,5

будет расти, так как датчики работают от автономного источника энергии, в нем используется литий-тионилхлоридная батарея, рассчитанная на 2 года постоянной эксплуатации.

Таким образом, построение блочно-модульной системы на основе беспроводных датчиков снижает капитальные затраты стоимости проекта, сокращает время монтажа и ввода в эксплуатацию, отвечает поставленным требованиям, дает возможность более точного измерения

воздуха рабочей зоны и оперативного расширения автоматизированной системы мониторинга на участок ремонтных работ.

Можно сделать общий вывод, что необходимо осуществлять постоянный мониторинг и химический анализ различных компонентов газовоздушных выбросов, разрабатывать и внедрять мероприятия по снижению их негативного воздействия на человека и биосферу.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены общие подходы к инвентаризации выбросов вредных веществ в атмосферу, особенности мониторинга выбросов аммиака.

Методы и средства мониторинга выбросов аммиака можно разделить на три группы: химико-аналитические методы, инструментальные методы, методы с сенсорных технологий. Проведены их систематизация и определены технические возможности эксплуатации.

Проведенные исследования показали, что наиболее перспективным является использование автоматизированных систем мониторинга выбросов аммиака на основе сенсорных технологий электрохимического действия.

Сделан вывод, что необходимо осуществлять постоянный мониторинг и химический анализ различных компонентов газоздушных выбросов, разрабатывать и внедрять мероприятия по снижению их негативного воздействия на человека и биосферу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюханов, А.Ю. Обоснование перечня маркированных веществ для оценки негативного воздействия на окружающую среду свиноводческих и птицеводческих предприятий / А.Ю. Брюханов, Е.В. Шалавина, Э.В. Васильев // Техника и технологии в животноводстве. – 2017. – № 3(27).
2. Васильев, А.В. Повышение безопасности жизнедеятельности информационно-программными методами / А.В. Васильев // Автотракторное электрооборудование. – 2004. – № 11. – С. 34-37.
3. Васильев, А.В. Перспективы и проблемы создания химических парков: пути снижения негативного экологического воздействия (на примере ЗАО «Тольяттисинтез») / А.В. Васильев, Е.А. Нустрова // Экология и промышленность России. – 2013. – № 7. – С. 42-45.
4. Дунаев, В.Н. Структура риска здоровью при воздействии комплекса химических факторов окружающей среды / В.Н. Дунаев, В.М. Боев, Е.Г. Фролова, Р.М. Шагеев, С.В. Колосков // Гигиена и санитария. – 2008. – № 6. – С. 67-71.
5. Перельгин, И.А. Пожаро- и взрывоопасность аммиачных объектов / И.А. Перельгин, Н.М. Кочетов // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 11. – С. 67-72.
6. Сажин, С.Г. Сенсорные методы контроля аммиака / С.Г. Сажин, Э.И. Соборовер, С.В. Токарев // Дефектоскопия. – 2003. – № 10. – С. 78-96.
7. Холодков, И.В. Современные сенсоры газов и возможные направления их технологического совершенствования / И.В. Холодков, Н.В. Холодкова, И.А. Чесноков // Актуальные вопросы естествознания: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иваново, 23 марта 2021 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2021. – С. 122-129.
8. Vasilyev A.V. Estimation of atmosphere air pollutants as factors of ecological risks of urban territories. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation «Le vie dei Mercanti» Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). Сер. «Fabbrica della Conoscenza series» Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1524-1528.
9. Vasilyev A. Method and approaches to the estimation of ecological risks of urban territories. Safety of Technogenic Environment. 2014. № 6. С. 43-46.

## SYSTEMATIZATION OF METHODS AND MEANS OF MONITORING OF AMMONIA EMISSIONS IN INDUSTRIAL CONDITIONS

© 2024 A.V. Vasilyev, B.S. Golubev

Samara State Technical University, Samara, Russia

Problem of pollution of air environment in conditions of urban territories is becoming more and more important. In this paper general approaches to inventory of emissions of harmful substances to air environment and peculiarities of monitoring of ammonia emissions are considered. Methods and means of ammonia emissions monitoring may be subdivided to the three groups: chemical-analytical, instrumental, methods with using of sensor technologies. Its systematization and determination of technical characteristics have been carried out. Results of researches described in this paper have shows that the most perspective is using of automated systems of monitoring of ammonia emissions on the basis of sensor technologies of electrochemical action.

*Key words:* gas emissions, atmosphere, pollutants, ammonia, impact, monitoring.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-194-201

EDN: GRQUUX

## REFERENCES

1. *Bryuhanov, A.Yu.* Obosnovanie perechnya markirovannyh veshchestv dlya ocenki negativnogo vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredyu svinovodcheskih i pticevodcheskih predpriyatij / A.Yu. Bryuhanov, E.V. SHalavina, E.V. Vasil'ev // *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve.* – 2017. – № 3(27).
2. *Vasil'ev, A.V.* Povyshenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti informacionno-programmnymi metodami / A.V. Vasil'ev // *Avtotraktornoe elektrooborudovanie.* – 2004. – № 11. – S. 34-37.
3. *Vasil'ev, A.V.* Perspektivy i problemy sozdaniya himicheskikh parkov: puti snizheniya negativnogo ekologicheskogo vozdejstviya (na primere ZAO "Tol'yattisintez") / A.V. Vasil'ev, E.A. Nustrova // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* – 2013. – № 7. – S. 42-45.
4. *Dunaev, V.N.* Struktura riska zdorov'yu pri vozdeystvii kompleksa himicheskikh faktorov okruzhayushchej sredy / V.N. Dunaev, V.M. Boev, E.G. Frolova, R.M. SHageev, S.V. Koloskov // *Gigiena i sanitariya.* – 2008. – № 6. – S. 67-71.
5. *Perelygin, I.A.* Pozharo- i vzryvoopasnost' ammiachnyh ob"ektov / I.A. Perelygin, N.M. Kochetov // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti.* – 2012. – № 11. – S. 67-72.
6. *Sazhin, S.G.* Sensornye metody kontrolya ammiaka / S.G. Sazhin, E.I. Soborover, S.V. Tokarev // *Defektoskopiya.* – 2003. – № 10. – S. 78-96.
7. *Holodkov, I.V.* Sovremennye sensory gazov i vozmozhnye napravleniya ih tekhnologicheskogo sovershenstvovaniya / I.V. Holodkov, N.V. Holodkova, I.A. Chesnokov // *Aktual'nye voprosy estestvoznaniya: Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Ivanovo, 23 marta 2021 goda.* – Ivanovo: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situacijam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij», 2021. – S. 122-129.
8. *Vasilyev A.V.* Estimation of atmosphere air pollutants as factors of ecological risks of urban territories. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation «Le vie dei Mercanti» Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). Ser. «Fabbrica della Conoscenza series» Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1524-1528.
9. *Vasilyev A.* Method and approaches to the estimation of ecological risks of urban territories. Safety of Technogenic Environment. 2014. № 6. S. 43-46.

---

*Andrey Vasilyev, Doctor of Technical Sciences, professor, Head of Povolzhsky Resources Center of Engineering Ecology and Chemical Technology, Samara State Technical University, the Russian Federation. E-mail: vasilyev.av@samgtu.ru*  
*Bogdan Golubev, Magistracy Student of Chemical Technology and Industrial Ecology Department.*  
*E-mail: ecology@samgtu.ru*