



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения** К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2502181
(22) 14.10.2025
(46) Бюл. 233, 2026
(71) Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан (TJ).
(72) Хакдодов Акбарджон Махмадшарифович (TJ), Амирзода Ориф Хамид (TJ), Хакдод Махмадшариф Махмуд (TJ), Гулахмадзода Амиджон Абдуджаббор (TJ).
(73) Хакдодов Акбарджон Махмадшарифович (TJ)
(54) **СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА**
(56)
1. Патент RU №2380729
2. Патент RU №2466434
3. Патент RU №2536789
(57) Изобретение относится к области экологического мониторинга атмосферного воздуха в промышленных районах и предназначено для оперативного контроля, анализа и прогнозирования уровней химического и физического загрязнения.
Система состоит из модулей сбора, обработки и хранения данных, аналитики и прогнозирования,

2

контроля и реагирования, а также взаимодействия с пользователями. Сеть датчиков, объединённая технологией Интернета вещей, размещена на стационарных постах, мобильных точках и беспилотных летательных аппаратах. Обработка данных осуществляется с использованием централизованной базы и распределённого блокчейн-хранилища, обеспечивающего защиту и неизменяемость записей. Модуль аналитики применяет математические модели и алгоритмы машинного обучения для прогнозирования загрязнений. Модуль взаимодействия с пользователями обеспечивает доступ к данным мониторинга в реальном времени для различных категорий пользователей, включая граждан, исследователей и государственные органы. При превышении нормативов смарт-контракт автоматически инициирует вылет БПЛА для уточняющего мониторинга, формируя адаптивный замкнутый цикл контроля.

Изобретение обеспечивает повышенную точность наблюдений, надёжность данных и сокращение времени реакции на экологические отклонения.

Изобретение относится к экологическим системам сбора и обработки информации и может быть использовано для прогнозирования распространения загрязнения атмосферного воздуха на территории промышленного региона.

Известна система экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона [1], которая содержит первую и вторую группы датчиков экологического контроля состояния среды, средства радиосвязи датчиков второй группы с аппаратурой городской телефонной сети, центральный диспетчерский пункт. Дополнительно в систему введены быстродействующие газовые датчики экологического контроля состояния атмосферы, система GPS, мобильная телефонная система, установленные на электротранспортных единицах, а также метеостанция, группа датчиков замеров концентраций загрязняющих веществ непосредственно с источников загрязнения, центр обработки и сравнения данных.

Недостатком является отсутствие единого стандартизованного протокола передачи и синхронизации данных, вследствие чего информация от различных типов датчиков и измерительных модулей поступает в центр обработки в неоднородных форматах, что усложняет её интеграцию и снижает оперативность вычислительных процедур. Зависимость системы от городской телефонной сети и мобильной инфраструктуры делает её уязвимой к перегрузкам и внешним факторам, что особенно критично в условиях неблагоприятной экологической обстановки, когда непрерывность мониторинга имеет решающее значение. Использование центрального диспетчерского пункта в качестве основного координирующего звена создаёт риск возникновения единой точки отказа, при выходе из строя которой функционирование всей системы может быть нарушено.

Известна система экологического мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы промышленного региона [2], которая содержит датчики замеров концентраций загрязняющих веществ непосредственно с источников загрязнения и метеостанцию, соединенные с центром моделирования, который соединен с центром обработки и сравнения данных. Быстродействующие газовые датчики экологического контроля состояния атмосферы и система GPS посредством мобильной телефонной системы соединены с центром обработки и сравнения данных, первые группы датчиков экологического контроля состояния среды соединены с центром обработки и сравнения данных, вторые группы датчиков экологического контроля состояния среды по средствам радиосвязи соединены с городской телефонной сетью. Выход центрального диспетчерского пункта соединен с датчиком времени, который соединен с блоком моделирования метеопараметров и с входом временно-параметрических датчиков концентраций загрязняющих веществ от источников загрязнения, которые соединены с центром моделирования. Блок

моделирования метеопараметров соединен с центром моделирования, который соединен с центральным диспетчерским пунктом и с центром прогноза загрязнений, выход которого соединен с входом центрального диспетчерского пункта.

Недостатков данной системы обусловлена ее архитектурой и принципами организации передачи данных. Использование разнородных каналов связи, включая мобильную сеть, радиосвязь и городскую телефонную сеть, приводит к избыточной сложности структуры и фрагментации коммуникационных потоков. Такое решение затрудняет обслуживание системы, увеличивает вероятность сбоев при передаче информации и снижает надежность работы в условиях активного промышленного воздействия и возможных перебоев в сетевой инфраструктуре. Отсутствие облачных или распределенных механизмов хранения и обработки данных затрудняет масштабирование системы при расширении сети датчиков и подключении новых источников загрязнений. Совокупность обозначенных факторов свидетельствует о недостаточной гибкости, надежности и технологической актуальности системы в контексте современных требований к экологическому мониторингу атмосферного воздуха.

Известна система экологического мониторинга атмосферного воздуха горнопромышленной промагломерации [3], принятая за прототип, которая содержит первую и вторую группы быстродействующих датчиков экологического контроля состояния атмосферы, систему GPS, метеостанцию, мобильную телефонную станцию, центральный диспетчерский пункт. Датчики первой группы установлены на стационарных постах для измерения фоновых концентраций химического загрязнения и уровней физического загрязнения атмосферного воздуха, а в качестве датчиков второй группы используются средства измерения концентраций химического загрязнения и уровней физического загрязнения атмосферного воздуха, установленные на беспилотные летательные аппараты, совершающие облеты территории горно-промышленной агломерации по адаптивной программе, обеспечивающие эффективное прогнозирование возникновения и развития аварийной ситуации в случае обнаружения превышения нормативных значений загрязнений датчиками первой группы.

Недостатком данного изобретения является ограниченность функциональных возможностей, низкой достоверности и защищенности данных и отсутствии многоуровневого доступа к информации для различных категорий пользователей. Архитектура системы основывается на раздельном использовании датчиков первой и второй групп, что приводит к фрагментации измерительных данных и усложняет их оперативную интеграцию в центральном диспетчерском пункте. Стационарные посты обеспечивают измерение фоновых концентраций загрязняющих веществ, однако их фиксированное расположение не позволяет своевременно учитывать пространственную

вариативность распределения загрязнений в реальном времени, особенно в условиях сложного рельефа горнопромышленной местности. Нарушение центрального диспетчерского пункта приводит к невозможности координации стационарных постов и беспилотных аппаратов, снижая общую устойчивость системы к отказам и аварийным ситуациям. В системе также отсутствуют распределённые или облачные механизмы хранения измерений, что ограничивает её масштабируемость и не позволяет эффективно наращивать сеть датчиков при увеличении территории мониторинга

Стационарные датчики не позволяют оперативно реагировать на локальные выбросы, а отправка беспилотных летательных аппаратов осуществляется вручную, что снижает оперативность и увеличивает расходы на эксплуатацию.

Целью изобретения является разработка наиболее эффективной экологической системы прогнозирования распространения загрязнения атмосферного воздуха на территории промышленного региона

На Фиг.1 изображена система экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона.

Согласно чертежу, представлена структурная схема системы экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона, состоящая из последовательно взаимодействующих между собой 5 функциональных модулей: сбора данных (А), обработки и хранения данных (В), аналитики и прогнозирования (С), контроля и реагирования (D) и взаимодействия с пользователями (Е). Каждый модуль представлен определенными структурными компонентами. Так, модуль сбора данных (А) состоит из сети датчиков (стационарных, мобильных и специализированных датчиков, установленных на БПЛА) объединенных сетью Интернета вещей (IoT-сеть), которые фиксируют концентрации загрязняющих веществ (PM2.5, PM10, CO, NO₂, SO₂, O₃ и др.), модуль обработки и хранения данных (В) содержит центральный диспетчерский пункт принимающий данные от модуля А, базу данных, где имеется возможность долгосрочного хранения параметров качества атмосферного воздуха, блокчейн-систему за счет которого обеспечивается децентрализованное хранение данных с защитой от подделок и фиксацией временных меток, модуль аналитики и прогнозирования (С) состоит из системы прогнозирования работающая на алгоритмах машинного обучения, модуль контроля и реагирования (D) имеет блок проверки ПДК, смарт-контракт, который предназначен для инициации автоматической отправки БПЛА для детализированного анализа местности с превышенными ПДК загрязняющих веществ, модуль взаимодействия с пользователями (Е)

загрязнения дроны возвращают новые данные, которые поступают обратно в модуль А, замыкая цикл адаптивного мониторинга.

представленная веб-приложением функционирующем на мобильных устройствах и персональных компьютерах.

Система экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона работает следующим образом.

Все элементы подключены к сети Интернета вещей (IoT) (2), которая обеспечивает беспроводную передачу данных в центральный диспетчерский пункт (ЦДП) (3). Система фиксирует концентрации загрязняющих веществ (PM2.5, PM10, CO, NO₂, SO₂, O₃ и др.), а также физико-химические параметры (температура, влажность, давление). Кроме того, модуль получает данные от метеорологической станции (13) для учета погодных условий при моделировании распространения загрязнений. Полученные данные (поток сенсорных и метеорологических данных) из модуля А передаются в модуль В. Данные о концентрации загрязняющих веществ поступают в центральный диспетчерский пункт (3), где выполняется их предварительная обработка (процедура фильтрации шумов, нормализации и агрегации). Долговременное сохранение параметров качества атмосферного воздуха обеспечивается наличием базы данных (4) и для децентрализованного хранения данных с защитой от подделок и фиксацией временных меток используется блокчейн-система, который непосредственно связан с ЦДП (3) и базой данных (4).

В модуль С из модуля В поступают обработанные и верифицированные данные для дальнейшего анализа и прогнозирования качества атмосферного воздуха и распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Система прогнозирования (6) выполняет краткосрочные и долгосрочные прогнозы изменения качества воздуха, выявляет закономерности и аномалии, определяет вероятность превышения нормативов загрязнений за счет использования математических моделей и алгоритмов машинного обучения (7). Соответственно, результаты анализа и прогнозирования передаются в модуль D для принятия решений и автоматического реагирования, где за счет блока проверки ПДК (8) осуществляется автоматическое сопоставление фактических и прогнозных данных с нормативными. В случае обнаружении превышений ПДК загрязняющих веществ смарт-контракт (9) реализованный в блокчейн-система инициирует сигнал для автоматической отправки БПЛА (10) с целью детализированного изучения состояния местности с превышенными ПДК, который выполняет построение маршрута полета дронов на основе координат зоны загрязнения, полученных из системы прогнозирования (6). После выполнения облета зоны

С применением мобильных устройств и персональных компьютеров (11) осуществляется доступ к веб-интерфейсу (приложению) (12), позволяет получать данные о качестве атмосферного

воздуха в реальном времени различным категориям пользователей (гражданам, ученым, государственным органам и др. заинтересованным сторонам) с разграничением функциональных возможностей. Данные из модуля Е могут направляться обратно в модуль В (для накопления пользовательских отметок, обратной связи или верификации наблюдений), обеспечивая обучение системы и повышение точности прогнозов.

С применением мобильных устройств и персональных компьютеров (11) осуществляется доступ к веб-интерфейсу (приложению) (12), позволяет получать данные о качестве атмосферного воздуха в реальном времени различным категориям пользователей (гражданам, ученым, государственным органам и др. заинтересованным сторонам) с разграничением функциональных возможностей. Данные из модуля Е могут направляться обратно в модуль В (для накопления пользовательских отметок, обратной связи или верификации наблюдений), обеспечивая обучение системы и повышение точности прогнозов.

Система прогнозирования, входящая в модуль аналитики и прогнозирования, выполнена с возможностью использования ансамбля алгоритмов машинного обучения, предназначенных для анализа временной, пространственной и метеорологической изменчивости загрязнения атмосферного воздуха. В качестве входных признаков используются концентрации загрязняющих веществ PM2.5, PM10, CO, NO₂, SO₂, O₃, координаты датчиков, временные признаки, включая час суток, день недели и сезон, а также метеорологические параметры: температура, влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра.

Для краткосрочного прогнозирования концентраций загрязняющих веществ используется комбинация алгоритмов Random Forest Regressor, Gradient Boosting / XGBoost и рекуррентной нейронной сети типа LSTM. Random Forest применяется для устойчивой оценки нелинейных зависимостей между загрязнением и метеорологическими параметрами, Gradient Boosting используется для повышения точности прогноза при наличии сложных взаимодействий между признаками, а LSTM применяется для учёта временной памяти и сезонно-суточных колебаний концентраций загрязняющих веществ.

Прогнозное значение концентрации загрязняющего вещества может быть представлено в виде:

$$\hat{C}_i(t + \Delta t) = F(C_i(t), C_i(t - 1), M(t), G, S),$$

9

Для повышения точности мониторинга в системе реализуется алгоритм слияния данных, поступающих от стационарных датчиков, мобильных измерительных устройств, датчиков на БПЛА, метеостанции и пользовательских отметок. Слияние выполняется не простым усреднением, а с учётом достоверности каждого источника, его пространственного положения, времени измерения и технического состояния датчика.

где, $\hat{C}_i(t + \Delta t)$ – прогнозируемая концентрация i-го загрязняющего вещества на момент времени $t + \Delta t$;

$C_i(t), C_i(t - 1)$ – текущие и предшествующие значения концентрации загрязняющего вещества;

$M(t)$ – вектор метеорологических параметров;

G – пространственные признаки, включающие координаты датчиков и расстояния до источников загрязнения;

S – сезонно-временные признаки;

F – обученная прогнозная модель.

Для повышения достоверности прогнозирования используется ансамблевое объединение результатов нескольких моделей:

$$\hat{C}_{ens} = w_1 \hat{C}_{RF} + w_2 \hat{C}_{GB} + w_3 \hat{C}_{LSTM},$$

где $\hat{C}_{RF}$, $\hat{C}_{GB}$, $\hat{C}_{LSTM}$ – прогнозы, полученные соответственно моделями Random Forest, Gradient Boosting и LSTM; w_1, w_2, w_3 – весовые коэффициенты моделей, определяемые по результатам оценки точности на контрольной выборке.

При этом веса моделей могут адаптивно изменяться в зависимости от текущих условий. Например, при резких изменениях метеорологических параметров больший вес получает модель Gradient Boosting, при устойчивой временной динамике – LSTM, а при неполных или зашумлённых данных – Random Forest, обладающий устойчивостью к выбросам.

Для выявления аномальных ситуаций используется алгоритм обнаружения выбросов, основанный на сравнении текущих измерений с прогнозным доверительным интервалом:

$$A(t) = \{1, \text{если } |C(t) - \hat{C}(t)| > \lambda\sigma, 0, \text{если } |C(t) - \hat{C}(t)| \leq \lambda\sigma,$$

где $A(t)$ – индикатор аномалии;

$C(t)$ – фактическое измеренное значение;

$\hat{C}(t)$ – прогнозное значение;

σ – стандартное отклонение ошибки прогноза;

λ – коэффициент чувствительности системы.

Такое построение позволяет системе выявлять не только уже произошедшие превышения ПДК, но и прогнозировать вероятность их возникновения в ближайшем временном интервале.

10

Интегральная оценка концентрации загрязняющего вещества в заданной точке территории определяется по формуле:

$$C_{fused}(x, y, t) = \frac{\sum_{k=1}^n q_k \cdot r_k \cdot C_k(x, y, t)}{\sum_{k=1}^n q_k \cdot r_k},$$

где $C_{fused}(x, y, t)$ – объединённая оценка концентрации загрязняющего вещества в

точке с координатами x, y в момент времени t ;

$C_k(x, y, t)$ – значение, полученное от k -го источника данных;

q_k – коэффициент качества данных, определяемый по состоянию датчика, частоте пропусков и уровню шума;

r_k – коэффициент пространственно-временной релевантности источника;

n – количество источников данных.

Коэффициент релевантности может определяться с учётом расстояния от датчика до контролируемой зоны и давности измерения:

$$r_k = \exp(-\alpha d_k - \beta \Delta t_k),$$

где d_k – расстояние от источника измерения до анализируемой точки; Δt_k – временной интервал между моментом измерения и моментом анализа; α, β – коэффициенты затухания пространственной и временной значимости данных.

Использование коэффициента качества данных и коэффициента пространственно-временной релевантности является существенным отличительным признаком заявляемого решения. Такой способ слияния данных является одним из существенных отличительных признаков системы, поскольку позволяет повысить достоверность оценки качества воздуха даже при неоднородной плотности датчиков, временных задержках передачи данных и наличии локальных выбросов.

Блокчейн-система в предлагаемом решении реализуется как разрешённая распределённая сеть, в которой узлами могут выступать центральный диспетчерский пункт, сервер экологической службы,

11

$$H(data_{current}) = H(data_{blockchain}).$$

Если значения совпадают, данные признаются достоверными и могут использоваться в прогнозной модели. Если значения не совпадают, запись маркируется как недостоверная и исключается из автоматического принятия решений.

Блокчейн-система также обеспечивает хранение событий, связанных с превышением нормативов, запуском смарт-контракта, отправкой БПЛА, получением уточняющих измерений и закрытием инцидента. Это позволяет формировать неизменяемый журнал экологических событий, пригодный для последующего аудита, экспертной проверки и принятия управленческих решений. Гибридное хранение обеспечивает одновременно высокую производительность системы и невозможность незаметного изменения зарегистрированных экологических измерений.

Смарт-контракт в составе модуля контроля и реагирования представляет собой программно-логический механизм, автоматически выполняющий заданные действия при наступлении заранее

сервер промышленного предприятия, научно-исследовательский узел и резервный узел хранения. В отличие от открытых публичных блокчейнов, такая архитектура обеспечивает контролируемый доступ, высокую скорость обработки транзакций и пригодность для применения в системах экологического мониторинга.

В блокчейн заносятся не все исходные массивы измерительных данных, а их верификационные записи, включающие:

$$BlockRecord = \{ID_s, T, Geo, H(data), C_i, Status, Sign\},$$

где ID_s – идентификатор датчика или измерительного устройства;

T – временная метка измерения;

Geo – координаты источника данных;

$H(data)$ – хэш исходного пакета данных;

C_i – значение концентрации загрязняющего вещества или агрегированный показатель;

$Status$ – статус проверки данных;

$Sign$ – цифровая подпись узла или устройства.

Исходные массивы данных сохраняются в централизованной базе данных, а в блокчейне фиксируются их хэш-образы, временные метки, идентификаторы источников и статусы проверки. Такое гибридное хранение обеспечивает одновременно высокую производительность базы данных и невозможность незаметного изменения экологических измерений после их регистрации.

Проверка целостности данных осуществляется путём повторного вычисления хэша исходного пакета и сравнения его с хэшем, ранее записанным в блокчейн:

12

определённых условий. Его основная функция заключается в автоматической инициации отправки БПЛА для уточняющего мониторинга зоны загрязнения при выявлении фактического или прогнозируемого превышения нормативных значений.

Условие активации смарт-контракта может быть представлено следующим образом:

$$SC = \{1, \text{если } C_{fused}(t) > PDK_i \text{ или } P(C_i(t + \Delta t) > PDK_i) > \gamma, 0, \text{если условие превышения не выполняется},$$

где SC – состояние смарт-контракта;

$C_{fused}(t)$ – объединённая оценка

концентрации загрязняющего вещества;

PDK_i – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества;

$P(C_i(t + \Delta t) > PDK_i)$ –

прогнозируемая вероятность превышения

ПДК в ближайшем интервале времени;

γ – порог вероятности, при достижении которого система инициирует реагирование.

Логика смарт-контракта включает следующие этапы:

1. получение верифицированных данных из базы данных и блокчейн-системы;
 2. проверка фактических концентраций загрязняющих веществ на превышение ПДК;
 3. проверка прогнозных значений и вероятности будущего превышения;
 4. определение координат зоны риска;
 5. формирование команды на отправку БПЛА;
 6. запись события активации в блокчейн;
 7. получение уточнённых измерений от БПЛА;
 8. повторная запись результатов в базу данных и блокчейн;
 9. закрытие события либо повторная активация мониторинга при сохранении риска.
- Так, запуск процедуры реагирования осуществляется как при фактическом превышении ПДК, так и при достижении прогнозируемой вероятностью превышения установленного порогового значения. Смарт-контракт выполняет не

13

Wind – направление и скорость ветра;

Relief – особенности рельефа и городской застройки;

Battery – текущий заряд аккумулятора БПЛА;

NoFly – ограничения на зоны полёта.

Приоритет обследования территории определяется величиной риска:

$$R(x, y) = a \cdot \frac{C_{fused}(x, y)}{PDK_i} + b \cdot P(C_i(t + \Delta t) > PDK_i) + c \cdot V_{wind},$$

где $R(x, y)$ – показатель риска для участка территории;

$C_{fused}(x, y)$ – объединённая концентрация загрязняющего вещества;

PDK_i – нормативное значение;

$P(C_i(t + \Delta t) > PDK_i)$ – вероятность будущего превышения;

V_{wind} – показатель влияния направления и скорости ветра;

a, b, c – весовые коэффициенты.

БПЛА направляется не просто в точку превышения, а в область максимального риска, где возможно развитие загрязнения с учётом направления переноса воздушных масс. При получении новых измерений маршрут может корректироваться в режиме реального времени. Если БПЛА фиксирует увеличение концентрации загрязняющего вещества по направлению ветра, система расширяет зону облёта; если концентрации снижаются, маршрут сокращается, что уменьшает время полёта и расход энергии. Технический эффект данного решения заключается в сокращении времени локализации источника загрязнения, снижении затрат на регулярные ручные облёты и повышении

только функцию фиксации события, но и функцию автоматического запуска процедуры реагирования без участия оператора, что снижает время реакции системы на локальные выбросы и аварийные ситуации.

Одним из уникальных технических решений предлагаемой системы является метод адаптивного управления БПЛА, при котором маршрут полёта формируется не заранее вручную, а автоматически на основе результатов слияния данных, прогноза загрязнения, координат зоны превышения и метеорологических условий.

Маршрут БПЛА строится с учётом следующих параметров:

$$Route = F(Geo_{risk}, C_{fused}, Wind, Relief, Battery, NoFly),$$

где Geo_{risk} – координаты зоны экологического риска;

C_{fused} – объединённая оценка концентрации загрязняющего вещества;

14

пространственной точности мониторинга без необходимости установки большого количества стационарных постов. Автоматическое построение и коррекция маршрута на основе показателя риска являются существенными признаками изобретения и обеспечивают сокращение времени локализации источников загрязнения и снижение энергозатрат.

Таким образом, предлагаемая система экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона обеспечивает комплексное управление информационными потоками и процессами контроля качества воздуха. Она позволяет:

- формировать первичный поток экологических и метеорологических данных с различных сенсорных источников;
- осуществлять фильтрацию, нормализацию и надежное хранение данных как в централизованной базе, так и в распределённой блокчейн-системе;
- проводить всесторонний анализ полученных данных и выявлять закономерности в динамике загрязнений;
- создавать прогнозные модели изменения состояния атмосферного воздуха;
- сопоставлять измеренные и прогнозируемые значения загрязнений с установленными нормативами;
- инициировать автоматическую отправку беспилотных летательных аппаратов для детализированного мониторинга при превышении предельно допустимых концентраций;
- визуализировать результаты мониторинга для различных категорий пользователей;
- обеспечивать информирование населения и заинтересованных сторон о состоянии атмосферного воздуха;
- реализовывать процедуры сбора обратной связи для повышения точности прогнозов и корректировки работы системы.

Технический результат заключается в:

- повышении точности пространственного мониторинга атмосферного воздуха за счёт интеграции разнородных источников данных с использованием коэффициента качества данных и коэффициента пространственно-временной релевантности;

- повышении достоверности экологических данных за счёт гибридного хранения измерительной информации в базе данных и блокчейн-системе;

- сокращении времени выявления зон и источников загрязнения за счёт автоматического реагирования на фактические и прогнозируемые превышения нормативов;

15

1744

- снижении потребности в использовании большого количества стационарных постов благодаря применению беспилотных летательных аппаратов с адаптивным управлением;

- уменьшении времени полета и энергозатрат беспилотных летательных аппаратов за счёт риск-ориентированного формирования и коррекции маршрута;

- обеспечении автоматического реагирования без постоянного участия оператора.

Система обеспечивает полную прозрачность и защищенность данных за счет применения блокчейн-технологий.

16

Формула изобретения

1. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона, содержащая датчики измерения концентраций химических загрязняющих веществ и уровней физического загрязнения атмосферного воздуха, метеостанцию, центральный диспетчерский пункт и беспилотные летательные аппараты, **отличающаяся тем, что** она выполнена в виде совокупности последовательно взаимодействующих модулей: модуля сбора данных, модуля обработки и хранения данных, модуля аналитики и прогнозирования, модуля контроля и реагирования и модуля взаимодействия с пользователями, при этом: модуль сбора данных выполнен в виде объединенной сетью Интернета вещей (IoT-сеть) совокупности стационарных, мобильных и установленных на беспилотных летательных аппаратах датчиков, обеспечивающих формирование первичного потока сенсорных и метеорологических данных; модуль обработки и хранения данных включает центральный диспетчерский пункт, связанный с базой данных и блокчейн-системой, обеспечивающей гибридное хранение данных, при котором исходные измерительные данные сохраняются в базе данных, а их хэш-значения, временные метки, статусы проверки и цифровые подписи сохраняются в блокчейн-системе для подтверждения целостности и неизменности данных; модуль аналитики и прогнозирования содержит систему прогнозирования качества атмосферного воздуха, выполненную с возможностью интеграции данных, поступающих от стационарных датчиков, мобильных измерительных устройств, датчиков, установленных на беспилотных летательных аппаратах, и метеостанции, с использованием коэффициента качества данных и коэффициента пространственно-временной релевантности источников данных для формирования объединенной оценки концентрации загрязняющих веществ, а также с возможностью прогнозирования вероятности превышения предельно допустимых концентраций на основе математических моделей и алгоритмов машинного обучения; модуль контроля и реагирования содержит блок проверки предельно допустимых концентраций и реализованный в блокчейн-системе смарт-контракт, выполненный с возможностью автоматической инициации отправки беспилотных

летательных аппаратов при выявлении фактического превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ либо при достижении прогнозируемой вероятностью превышения заданного порогового значения; модуль взаимодействия с пользователями включает веб-приложение, обеспечивающее многоуровневый доступ к данным мониторинга в реальном времени с мобильных устройств и персональных компьютеров, причем беспилотные летательные аппараты выполнены с возможностью автоматического формирования маршрута полёта на основе показателя риска, определяемого с учётом объединённой оценки концентрации загрязняющих веществ, направления и скорости ветра, особенностей рельефа местности, уровня заряда аккумуляторной батареи и ограничений на зоны полёта, причём маршрут выполнен с возможностью коррекции в режиме реального времени на основании данных, получаемых в процессе полёта, а данные, полученные беспилотными летательными аппаратами, автоматически возвращаются в модуль сбора данных, обеспечивая замкнутый адаптивный цикл мониторинга.

2. Система по пункту 1, **отличающаяся тем, что** коэффициент качества данных определяется на основе технического состояния датчика, частоты пропусков измерений и уровня шумов измерительного сигнала.

3. Система по пункту 1, **отличающаяся тем, что** коэффициент пространственно-временной релевантности определяется с учетом расстояния между источником данных и контролируемой областью, а также временного интервала между моментом измерения и моментом анализа.

4. Система по пункту 1, **отличающаяся тем, что** блокчейн-система выполнена в виде разрешённой распределённой сети, узлами которой являются центральный диспетчерский пункт, сервер экологической службы, сервер промышленного предприятия, научно-исследовательский узел и резервный узел хранения.

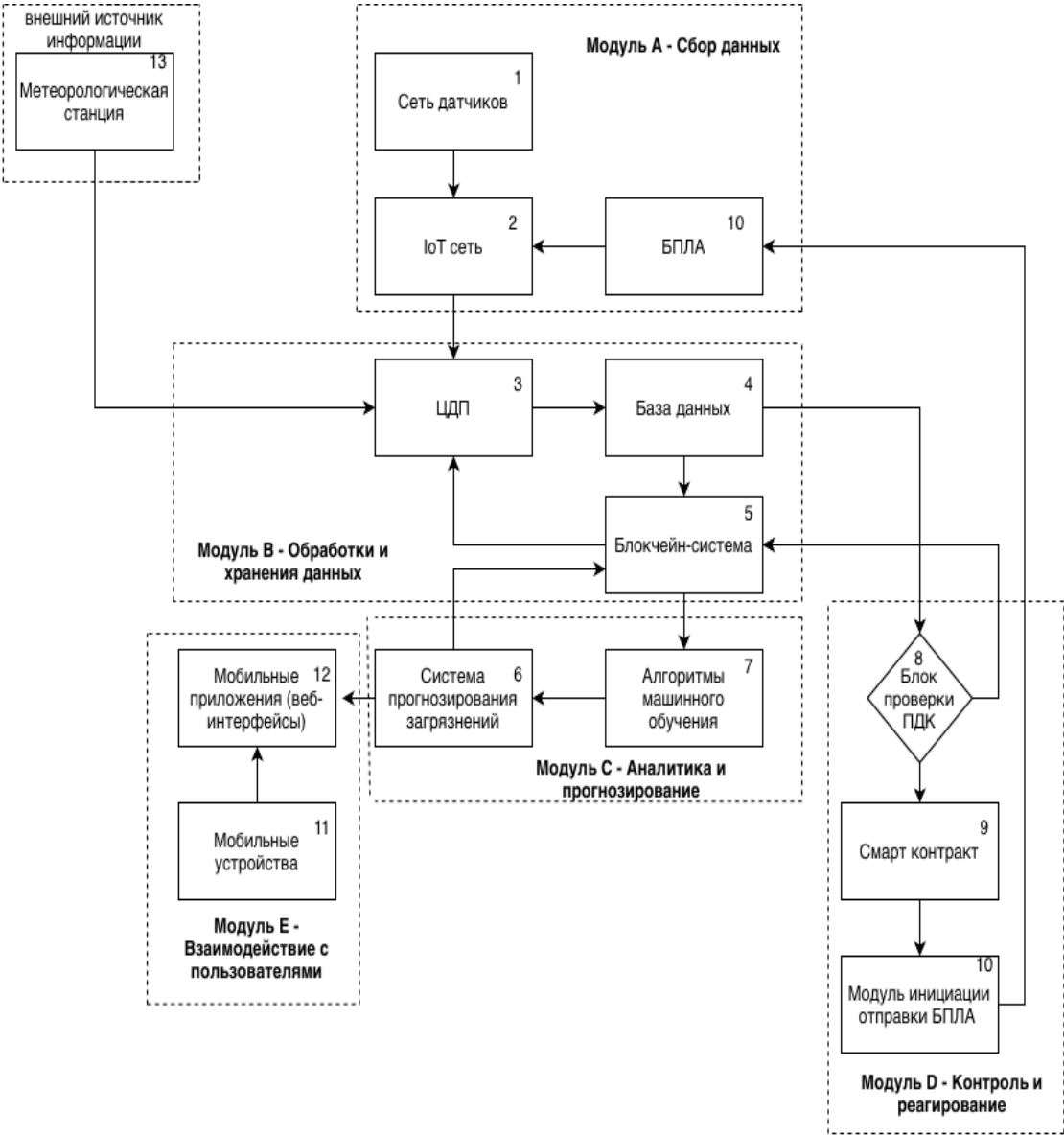
5. Система по пункту 1, **отличающаяся тем, что** смарт-контракт выполнен с возможностью регистрации в блокчейн-системе событий превышения нормативов загрязнения, отправки беспилотных летательных аппаратов, получения

уточняющих измерений и завершения мониторинга экологического инцидента.

6. Система по пункту 1, отличающаяся тем, что показатель риска определяется с учётом отношения объединённой концентрации загрязняющего вещества к нормативному значению, прогнозируемой вероятности превышения и характеристик переноса загрязняющих веществ воздушными потоками.

7. Система по пункту 1, отличающаяся тем, что коррекция маршрута беспилотного летательного аппарата осуществляется автоматически при изменении пространственного распределения концентраций загрязняющих веществ, выявленного в ходе полёта.

СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА



Фиг.

Компьютерный набор: Газиев М.

Заказ	Тираж	Подписное
Национальный патентно-информационный центр РТ 734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14а		