



IV ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.21.92.008

УДК 504.064.3

© С.В. Симанович, И.И. Гаврилин, 2025

С. В. СИМАНОВИЧ

аспирант

Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург

научный сотрудник, инженер по ОТ и ПБ

УрМФ ФГБУ «ВНИИ труда» Минтруда РФ

e-mail: rewriters@yandex.ru

И. И. ГАВРИЛИН

канд. биол. наук,

Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург

e-mail: i.gavrilin@list.ru

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В статье рассмотрены перспективы использования приборных комплексов на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для инвентаризации промышленных объектов в системе экологического мониторинга, актуальность которого возрастает в условиях современных экологических вызовов. Проведен систематический анализ развития экологического мониторинга и существующих методов оценки выбросов загрязняющих веществ, включая нормативно-правовые аспекты. Особое внимание уделено инструментальному методу инвентаризации, позволяющему получать объективные данные о выбросах непосредственно у источника, а также проблемам его применения при инвентаризации труднодоступных объектов.

В статье обоснована эффективность применения БПЛА как транспортного средства для доставки измерительных приборов к объекту инвентаризации, что позволяет минимизировать риски для экспертов при сохранении точности и повышении оперативности замеров, а также снизить затраты на инвентаризацию. В качестве примера адаптации регламентированных измерительных приборов для использования на платформе БПЛА представлен проект размещения на подвесе насоса-пробоотборника со специальной накладкой, обеспечивающей дистанционное управление прибором при замерах в устье источника выбросов и передачу результатов измерения. Предложен поэтапный алгоритм проведения замеров, включающий подготовку приборного комплекса, проведение замеров, сбор данных и передачу результатов измерений в режиме реального времени.

Результаты исследования позволяют предположить, что использование БПЛА в сфере экологического мониторинга позволит исключить из практики инвентаризации загрязняющих среду промышленных объектов расчетный метод, повысить объективность и релевантность данных, обеспечить оперативность реагирования на возможные нарушения требований экологической безопасности. Авторами выявлены правовые и организационные барьеры, требующие

корректировки существующей нормативной базы, включая разрешение полетов БПЛА в охраняемых зонах, сформулированы предложения по обучению и сертификации экспертов.

Внедрение предложенной технологии представляет собой перспективное направление в сфере экологической безопасности, обеспечивающее повышение качества мониторинга загрязнений атмосферного воздуха и позволяющее реализовать превентивный потенциал инвентаризации промышленных объектов.

Ключевые слова: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ БИОСФЕРЫ, ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ИНВЕНТАРИЗАЦИИ, БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ (БПЛА), ПРИБОРНЫЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ БПЛА.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях глобального экологического кризиса обеспечение экологической безопасности становится неотъемлемой частью национальной безопасности. В связи с этим детальная доктринальная проработка всех её составляющих становится приоритетной задачей органов государственной власти и управления [1]. Решить эту стратегически важную задачу можно только комплексно: опираясь на переработанную в практическую плоскость действенную правовую базу, активно вести научные исследования и на их основе внедрять в практику технические достижения и инновационные технологии, что позволит повысить эффективность экологического мониторинга в части касающейся мероприятий экологической экспертизы и инвентаризации промышленных объектов, загрязняющих окружающую среду выбросами опасных и (или) вредных веществ [2].

Актуальность незамедлительного решения этой задачи определяется программой цифровизации экономики, утвержденной Правительственной комиссией Российской Федерации, требующей активного продвижения и быстрого внедрения инновационных технологий с целью значительного улучшения технологического уровня во всех секторах экономики [3].

Загрязнение атмосферы вследствие деятельности человека вызывает физико-химические и биологические изменения состава воздуха, что отрицательно сказывается во всех сферах жизнедеятельности человека,

оказывая негативное воздействие на здоровье людей и устойчивость экосистем [4].

При этом по мнению специалистов из всей совокупности наиболее опасных последствий негативных воздействий на окружающую среду в целях предупреждения загрязнений приоритет следует отдавать действенным мерам по предотвращению изменения химического состава и свойств атмосферного воздуха [5].

Проблема загрязнения атмосферного воздуха исторически возникла в процессе укрупнения городов как мест проживания значительного количества людей и развития промышленности. Однако предметом внимания всего мирового сообщества глобальные проблемы загрязнения окружающей среды стали в начале 70-х годов XX века. Первая международная конференция по проблемам окружающей среды и человека (Стокгольм, 1972 год) подняла вопрос о необходимости глобального мониторинга загрязнений, а сам термин «экологический мониторинг» был введен советским ученым Юрием Израэлем в 1978 году.

С 80-х годов XX века проблема загрязнения атмосферного воздуха обостряется в связи со стремительным развитием промышленности, наращиванием производственных мощностей в области металлургии, химического производства, горно-обогатительного дела. Специалистами выделяются различные отрасли, способствующие загрязнению атмосферы, включающие производство электроэнергии, промышленные процессы, добычу полезных ископаемых, сельское хозяйство, переработка отходов и транспорт [6]. Для всех перечисленных отраслей характерно наличие

стационарных источников выбросов, число которых растет непрерывно и, как следствие ведет к росту суммарного количества вредных и (или) опасных веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Начиная с 2000-х годов (рис. 1) проблема загрязнения атмосферного воздуха показала необходимость принципиальных изменений в подходах к мониторингу и экспертизе источников выбросов в целях контроля за интенсивностью попадания в атмосферный воздух вредных и (или) опасных веществ с целью предотвращения возможных негативных последствий [7].

Анализ имеющихся данных позволяет утверждать, что в течение последних лет наблюдается общая тенденция к некоторому снижению выбросов в атмосферу. Вместе с тем, прогноз на 2023 и 2024 годы, полученный на основе полиномиальной регрессии, указывает на вероятность увеличения выбросов, что может быть вызвано различными факторами,

связанными с увеличением производственных мощностей, изменениях в экономической политике и др.

Прогностические данные получены с помощью построения полиномиальной линии тренда со степенью 4: такой выбор обосновывается необходимостью учета возможной нелинейной динамики в данных о выбросах в атмосферу в течение времени, а коэффициент детерминации $R^2 = 0,93$ указывает на то, что модель соответствует данным, подтверждая адекватность прогноза. Однако любая модель прогнозирования основывается на предположениях о будущих условиях, которые могут быть несостоятельными из-за изменений внешних факторов или непредвиденных событий, что обуславливает важность проведения регулярных дополнительных исследований для корректировки прогноза.

В этом отношении следует отметить положения Федерального закона от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного

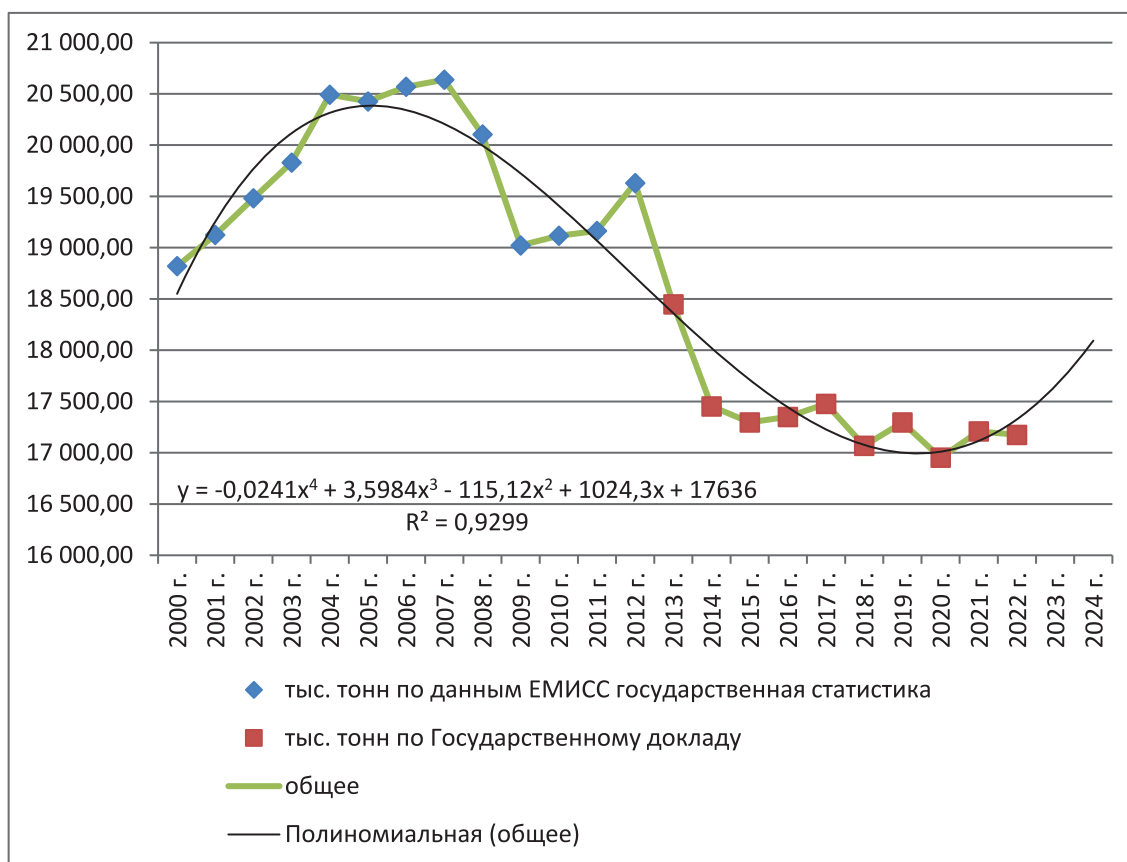


Рис. 1. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ стационарными источниками промышленных объектов, тыс. тонн (рисунок авторов)

воздуха», принятого в Российской Федерации в 1999 году, которые определяют инвентаризацию источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух как обязательную и регулярно проводимую процедуру для всех промышленных объектов. В соответствии с требованиями этого нормативного документа каждый источник загрязнения атмосферного воздуха (ИЗАВ), находящийся на территории промышленного объекта, подлежит периодической оценке с целью определения наличия и концентрации в выбросах вредных и (или) опасных загрязняющих веществ, степени возможного негативного воздействия таких выбросов на окружающую среду. Протоколы инвентаризации являются основанием для разработки предписаний руководству объекта к обязательному выполнению организационно-технических решений по предупреждению дальнейших загрязнений атмосферного воздуха выше допустимых норм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процедура инвентаризации стационарных объектов, загрязняющих окружающую среду, направлена на определение параметров выбросов с целью проверки их соответствия установленным нормам. Порядок и содержание инвентаризации определены приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 19 ноября 2021 года № 871. В соответствии с ним определение состава и интенсивности выбросов из ИЗАВ может происходить двумя методами: инструментальным или расчетным.

Технология инструментального метода заключается в измерении экспертом физических и химических параметров газозооного потока регламентированными измерительными приборами непосредственно в устье ИЗАВ, то есть в точке выхода газозооного потока в окружающую среду. Такой метод однозначно признается приоритетным, так как в качестве средств измерений используются приборы с известными метрологическими характеристиками. Это технически обосновано, поскольку прямое измерение

выбросов из ИЗАВ при заборе проб напрямую позволяет получить объективные данные, исключить ошибки при дальнейших расчетах при минимизации абсолютных погрешностей [7–8].

Однако далеко не всегда такой метод применим для инвентаризации ряда объектов и ИЗАВ, доступ к устью выбросов которых эксперту, снабженному комплексом приборов, ограничен или невозможен: высокие дымовые трубы котельных, депо, производственных цехов, верхние венцы воздухопроводов, находящиеся на значительной высоте или выходящие на крышу или вертикальную стену производственных зданий.

В таких случаях для инвентаризации в соответствии с пунктами 26–28 Правил [9] применяется расчетный метод, использующий в качестве исходных данных проектные характеристики предприятия, материально-сырьевой баланс технологического процесса, а также физико-химические закономерности процессов образования выбросов и удельные величины выбросов от подобного оборудования.

Очевидно, что в этом случае итоговые результаты инвентаризации не будут обладать высокой степенью достоверности: нормативно установленная допустимая погрешность между полученными расчетным путем значениями выбросов и данными, полученными с использованием измерительных приборов, находится в пределах $\pm 25\%$ [10]. С учетом возможных ошибок, связанных с человеческим фактором, величина погрешности увеличивается, что позволяет представлять расчетный метод крайне необъективным и предполагать его использование лишь в качестве вынужденной меры. Очевидно, что для получения объективной картины необходимо применять только инструментальный метод, подразумевающий использование комплекса измерительных приборов непосредственно у источника выброса.

Таким образом, проблема применения приборного комплекса непосредственно в устьях многочисленных недоступных и небезопасных для доступа к ним эксперта ИЗАВ является

актуальной и требует научно обоснованного и практикоприменимого решения.

Современными исследователями и авторами существующих методик в области экологического и неразрывно связанного с ним социально-гигиенического мониторинга приоритет отдается оперативному получению достоверных данных, получаемых в результате систематических инструментальных измерений качества атмосферного воздуха. В настоящее время в качестве эффективных средств доставки средств измерений в недоступные (опасные) для человека зоны и воздушные горизонты все чаще используют БПЛА различного типа [11].

Вместе с тем обзор существующих способов экологического мониторинга с использованием сети стационарных объектов контроля, мобильных аппаратно-приборных комплексов, позволяющих создавать актуальные карты загрязнений [12], выстраивать поля концентрации на основе сравнения фактических полученных величин загрязняющего вещества и его предельно допустимых концентраций (ПДК), показывают их выраженную направленность на анализ данных уже сформировавшегося состояния воздушного бассейна и зон загрязнений. Это ставит нас перед уже состоявшимся фактом загрязнения и ограничивают возможность управления рисками посредством оперативного определения конкретных ИЗАВ и интенсивности их выбросов. Однако если подходить к решению проблемы мониторинга атмосферного воздуха с точки зрения теории причинных решений, принципы рационального выбора способов действий должны учитывать последствия этих действий: если ожиданием является снижение загрязнений воздуха, то рационально то действие, которое будет направлено на предотвращение загрязнений [13]. Приоритетность такого подхода, основанного на прогнозировании и предупреждении возможных угроз для человека и окружающей среды, определяется концепцией государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и экологической безопасности [14].

В свете этих требований авторам представляется целесообразным внедрение в устоявшуюся систему экологического мониторинга и, как составляющую его часть, инвентаризацию промышленных объектов использование приборных комплексов на базе БПЛА, что позволит на основе известных способов, апробированных методик и имеющейся сертифицированной приборной базы осуществлять эффективный и максимально объективный сбор данных о выбросах конкретными ИЗАВ с любой сложностью доступа к его устью, производить замеры в реальном времени и с минимальными затратами времени и ресурсов.

Использование БПЛА в настоящее время показывает высокую эффективность этих транспортных средств в различных областях экономической деятельности, в том числе и в системе экологического мониторинга. Современные достижения в сфере информационно-коммуникационных технологий позволяют этим устройствам функционировать с высокой точностью, что делает их востребованным, многофункциональным и высокоэффективным средством для решения широкого спектра задач в системе мониторинга климата, дистанционного мониторинга морских и прибрежных территорий, составления карт снежного покрова, оценки качества воздуха, в пространственных экологических и ландшафтных исследованиях, контроля изменений среды в зонах строительства и т.д. Наряду с целесообразностью и обоснованностью использования БПЛА в различных отраслях отмечается также экономическая эффективность: в агропромышленном секторе [15], в ходе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций [16] и других. Как правило, в качестве носителей приборных комплексов используются квадрокоптеры, которые выделяются из всего спектра БПЛА высокой маневренностью и управляемостью, устойчивостью в различных режимах полета при различных метеорологических условиях, возможностью обеспечения работы приборов с высокой точностью привязки к местности. Специалистами отмечается, что использование приборных комплексов

на базе БПЛА в сравнении с использованием традиционных методов сбора данных значительно снижает затраты на персонал и оборудование, а также минимизирует потенциальные риски воздействия негативных факторов на находящегося вне опасной зоны оператора, дистанционно управляющего БПЛА и получающего данные измерений.

Немаловажным будет отметить, что и зарубежные исследователи всё больше акцентируют внимание на использовании приборных комплексов на базе БПЛА для выявления источников загрязнения воздуха [17]. В таком технологическом решении отмечается потенциал для эффективного мониторинга и контроля качества воздуха для стран Центральной Европы, а аналогичные разработки находят поддержку среди международных исследовательских групп, что подчеркивает глобальный интерес к таким технологиям.

Таким образом, применительно к решению проблем инвентаризации промышленных объектов использование БПЛА предоставляет уникальную возможность доставки приборного комплекса к любым труднодоступным и (или) недоступным для оператора устьям ИЗАВ для проведения замеров характеристик выбросов, необходимых для его оценки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Размещенный на базе БПЛА приборный комплекс позволяет совместить процедуру проведения измерения и сбора данных с их одновременной детализацией и передачей эксперту (оператору) в режиме реального времени. Такая технология позволит исключить применение расчетного метода при инвентаризации промышленных объектов, повысить релевантность получаемой информации в рамках экологического мониторинга, что, в свою очередь, позволит эффективно управлять рисками чрезмерных загрязнений атмосферного воздуха посредством реализации составленных по результатам замеров предписаний руководству объекта, предусматривающих обязательную реализацию организационно-технических решений по

предупреждению дальнейших загрязнений атмосферного воздуха выше допустимых норм.

Для использования БПЛА как транспортной платформы при проведении инвентаризации объектов предполагается использование нормативно регламентированных для этой процедуры измерительных приборов, которые адаптированы к размещению на несущей платформе БПЛА, дистанционному управлению и передаче данных измерений.

В качестве примера приведем размещение насоса-пробоотборника НП-3М в подвесе. Модификация насоса предполагает возможность задействовать органы управления дистанционно посредством специальных накладок. Расположенная параллельно насосу накладка оснащена движущимся поршнем, закрепленным на оконечности штока насоса пробоотборника. К насосу подключается индикаторная трубка на исследуемое вещество, а другая часть через патрубок к металлической трубке, которая продолжается за корпусом подвеса (рис. 2).

Считывание данных о процессе отбора происходит с помощью расположенной внутри подвеса камеры, передающей видеопоток на пульт управления оператора в реальном времени.

Предложенный способ мониторинга промышленных выбросов загрязняющих веществ предполагает следующие этапы.

Этап 1: Получение информации о источнике выбросов

1.1. Запрос информации: объект, запросивший измерения, передает данные о диаметре, номере и расположении источника выбросов, используя GPS, уточняется более точное расположение.

1.2. Проверка метеоусловий: данных о скорости ветра с использованием либо приборов (н.п. анемометра) или данных от местных органов Росгидромета; принимается решение о возможности произвести измерения.

Этап 2: Подготовка к полету

2.1. Проверка оборудования перед установкой: работоспособность каждого прибора и подвеса, включая органы дистанционного управления.

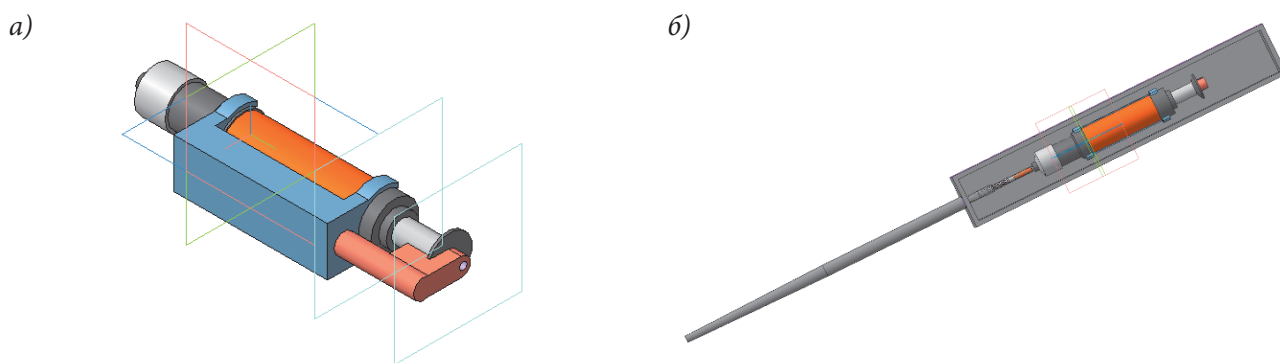


Рис. 2. Внешний вид насоса-пробоотборника НП-3М: а — с установленной накладкой; б — расположение в подвесе с установленной накладкой и индикаторной трубкой (рисунок авторов).

2.2. Проверка уровня заряда и калибровка: заряд пульта управления, накладки и батарей дрона; калибровка компаса для обеспечения корректного полета.

Этап 3: Установка и настройка подвесов: проверяется возможность использования модифицированного насоса пробоотборника с дистанционным управлением.

Этап 4: Проведение полета к источнику выбросов

4.1. Предполетная подготовка: проверка выбранного места для взлета на безопасность; подготовка и снаряжение дрона, установка батарей и иное техническое обслуживание.

4.2. Проверка технической готовности: запуск моторов дрона и проведение предварительных проверок стабильности и реакции на команды.

Этап 5: Сбор данных в месте проведения измерений

5.1. Сбор аэродинамических характеристик: манипулирование приборами для сбора данных об аэродинамике газозвдушного потока и удаленное управление при помощи First Person View (FPV) и Global Positioning System (GPS). Использование технологии FPV позволит оператору получать видеопоток с камеры, установленной на БПЛА, на свой экран управления. Так оператор сможет непосредственно наблюдать за местом проведения измерений, что позволит ему управлять измерительными приборами для сбора данных и адаптировать процесс сбора к изменяющимся условиям в реальном времени (рис. 3). Система навигации GPS обеспечит точное определение местоположения БПЛА в пространстве, что существенно упростит позиционирование и управление БПЛА во время сбора аэродинамических характеристик газозвдушного потока. Вместе с этим с помощью



Рис. 3. Вид от камеры дрона на место пробоотбора и на индикаторную трубку в подвесе (рисунок авторов)

GPS оператор сможет точно задавать координаты места, где требуется произвести измерения, следить за перемещением БПЛА в реальном времени на карте, осуществлять точное позиционирование в нужной точке для сбора данных и эффективно координировать процесс сбора информации.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимо отметить, что как любая востребованная временем и обстановкой инновация, внедрение приборного комплекса на базе БПЛА в сферу отечественного экологического мониторинга требует решения целого спектра сопутствующих задач, в частности, в области права и безопасности.

Так, для преодоления правовых проблем для внедрения в практику технологии инвентаризации объектов с использованием приборного комплекса на базе БПЛА необходимо дополнить некоторые нормативные положения, так как Федеральный Закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» не в полной мере позволяет использовать эту технологию в сфере экологического мониторинга в местах, которые являются труднодоступными и (или) охраняемыми [18].

Согласно нормативным требованиям, использование воздушного пространства над специально охраняемыми зонами для действий с БПЛА массой до 30 кг, проводимыми в дневное время при наличии прямой видимости, не требует дополнительного разрешения, если такие действия предусмотрены в плане обеспечения охраны объекта, определяемом Федеральным законом от 27.05.1996 «О государственной охране» № 57-ФЗ. Представляется целесообразным нормативно допустить использование БПЛА без дополнительного разрешения в случаях проведения мероприятий, проводимых на основе Федерального закона от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и согласно Приказу Минприроды России от 19 ноября 2021 года № 871 «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки данных и их документирования».

Другим немаловажным вопросом, требующим решения в условиях возросших рисков совершения актов незаконного вмешательства и использования БПЛА в террористических целях, является вопрос обеспечения безопасности объектов при проведении инвентаризации с использованием приборного комплекса на базе БПЛА. Одним из целесообразных решений этого вопроса представляется наделение эксперта, проводящего инвентаризацию с использованием приборного комплекса на базе БПЛА, определенными на федеральном уровне органами исполнительной власти и федеральными службами безопасности полномочиями. Целесообразным представляется включение экспертов, соответственно после должного обучения и проверки, в Федеральный реестр, аналогичный, к примеру, Федеральному реестру экспертов промышленной безопасности.

Безусловно, повышенный уровень ответственности предполагает и соответственный уровень компетентности. Для этого эксперту, проводящему инвентаризацию выбросов с использованием комплекса на базе БПЛА, необходимо:

- обучение в области управления мультироторными беспилотными системами максимальной массой до 30 кг, включая навыки внешнего пилотирования и летной эксплуатации;
- дополнительное профессиональное образование в области отбора проб и контроля промышленных выбросов в атмосферу;
- опыт работы в данной сфере не менее года [19].

Решение вышеозначенных задач, конечно же, требует определенных усилий, затрат и времени. Однако в современных условиях экологического кризиса и безусловного сохранения приоритета охраны окружающей среды и здоровья населения использование приборных комплексов на базе БПЛА для проведения инвентаризации промышленных объектов представляется наиболее перспективным с точки зрения эффективности, безопасности и экономической выгоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левитанус Б. А., Ода А. Л. Вызовы и угрозы экологической безопасности Российской Федерации: теоретико-правовой аспект // Ученые записки юридического факультета. 2021. № 1. С. 50–54.
2. Карапузов М. Ю. Возможности применения новейших технологий как способа преодоления экологического кризиса // Социально-гуманитарные знания. 2020. № 1. С. 284–292.
3. Пахомова П. С., Потемкина С. Н. Беспилотные летательные аппараты для цифровой трансформации малых фермерских хозяйств // Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: VI Международная научно-практическая конференция. Саратов: ООО «ЦеСАин», 2022. С. 329–336.
4. Неверова О. П. Мероприятия по предупреждению загрязнения и очистка воздуха // Технологии животноводства: проблемы и перспективы. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2023. С. 180–181.
5. Зайцева Н. В., Жданова-Заплесвичко И. Г., Землянова М. А. [и др.] Опыт организации и проведения санитарно-эпидемиологических исследований по выявлению и доказательству связи нарушений здоровья населения с качеством атмосферного воздуха в зонах влияния хозяйствующих субъектов // Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО. 2021. № 1(334). С. 4–15.
6. Фирстова Ж. Ю. Проблема загрязнения атмосферного воздуха // От синергии знаний к синергии бизнеса: Сборник статей и тезисов докладов XI международной научно-практической конференции студентов, магистрантов и преподавателей. Омск: ООО «Издательский центр КАН», 2024. С. 291–293.
7. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ДОКЛАД 2022 О состоянии и об охране окружающей среды российской федерации в 2022 году // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://2022.ecology-gosdoklad.ru/doklad/atmosfernyy-vozduh/vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv/> (дата обращения: 18.01.2024).
8. Медведев Ю. Н., Шайтура Н. С. Погрешности измерений и их оценка. Бургас: Институт за хуманитарни науки, икономика и информационни технологии=Институт гуманитарных наук, экономики и информационных наук, 2023. 92 с.
9. Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 19 ноября 2021 года №871. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727251276?marker=6540IN> (дата обращения: 13.08.2023).
10. Об утверждении Правил разработки и утверждения методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками: Постановление Правительства РФ от 16.05.2016 №422. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_198019/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения: 12.08.2023).
11. Желавский М. А., Дерюжов М. Г. Концепция создания системы оперативного экологического мониторинга атмосферного воздуха современного мегаполиса на основе перспективной беспилотной авиационной системы (на примере Санкт-Петербурга) // Молодежь. Техника. Космос: Труды пятнадцатой общероссийской молодежной научно-технической конференции. Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет «Военмех», 2023. С. 11–16.
12. Рыбак В. А., Рябычина О. П. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2020. Т. 18. № 4. С. 36–43.

13. Hitchcock C. R., Causal Decision Theory and Decision-Theoretic Causation // *Noûs*. 1996. No. 30(4). P. 508–526.

14. Указ Президента Российской Федерации от 11 января 2018 года №12 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_287639/ (дата обращения: 12.08.2023).

15. Зубарев Н. Ю., Урасова А. А., Глезман Л. В. и др. Развитие рынка беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве регионов Российской Федерации // *Экономика сельского хозяйства России*. 2023. № 11. С. 65–73.

16. Солдатов Е. А., Кульнев С. В., Швец В. А., Бигунец В. Д. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в интересах медицинской службы в ходе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2010. № 2. С. 50–55.

17. Żeliński J, Bigda R, Kucbel M, et al Using a Unmanned Aerial Vehicle to Assess Air Pollution and Identify Dominant Emission Sources // *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23. No. 12. P. 134–144.

18. Шикуня Э. Р., Гусенко Н. С., Симанович Л. Н. Гражданские дроны в законодательстве России и Японии // *Евразийская адвокатура*. 2019. № 1(38). С. 109–111.

19. Симанович С. В. Некоторые аспекты реализации технологии дистанционного проведения замеров при инвентаризации источников выбросов объектов транспортной инфраструктуры // *Железнодорожный транспорт и технологии: сборник трудов международной научно-практической конференции*. Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2023. С. 267–269.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.21.92.008

UDC 504.064.3

© S. V. Simanovich, I. I. Gavrilin, 2025

S. V. SIMANOVICH

Graduate Student

Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg

Researcher, Engineer in Occupational Safety and Health

UrMF Federal State Budgetary Institution «All-Russian Research Institute of Labor» of the Ministry of Labor of the Russian Federation

e-mail: rewriters@yandex.ru

I. I. GAVRILIN

Candidate of Biological Sciences,

Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg

e-mail: i.gavrilin@list.ru

POSSIBILITIES AND PROSPECTS OF USING INSTRUMENT COMPLEXES BASED ON UNMANNED AERIAL VEHICLES DURING THE INVENTORY OF INDUSTRIAL FACILITIES IN THE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

The article discusses the prospects of using instrument complexes based on unmanned aerial vehicles (UAVs) for the inventory of industrial facilities in the environmental monitoring system, the relevance of which is increasing in the context of modern environmental challenges. A systematic analysis of the development of environmental monitoring and existing methods for estimating pollutant emissions, including regulatory

and legal aspects, has been carried out. Special attention is paid to the instrumental inventory method, which allows obtaining objective data on emissions directly at the source, as well as the problems of its application in the inventory of hard-to-reach objects.

The article substantiates the effectiveness of using a UAV as a vehicle for delivering measuring instruments to an inventory facility, which minimizes risks for experts while maintaining accuracy and increasing the efficiency of measurements, as well as reducing inventory costs. As an example of adapting regulated measuring devices for use on the UAV platform, a project is presented for placing a sampling pump with a special cover on the suspension, which provides remote control of the device when measuring at the mouth of the emission source and transmitting measurement results. A step-by-step measurement algorithm is proposed, including preparation of the instrument complex, measurement, data collection and transmission of measurement results in real time.

The results of the study suggest that the use of UAVs in the field of environmental monitoring will eliminate the calculation method from the practice of inventory of polluting industrial facilities, increase the objectivity and relevance of data, and ensure prompt response to possible violations of environmental safety requirements. The authors identified legal and organizational barriers that require adjustments to the existing regulatory framework, including allowing UAV flights in protected areas, and formulated proposals for training and certification of experts.

The introduction of the proposed technology is a promising direction in the field of environmental safety, ensuring an improvement in the quality of monitoring of atmospheric air pollution and allowing the preventive potential of the inventory of industrial facilities to be realized.

Keywords: ENVIRONMENTAL SAFETY, ENVIRONMENTAL MONITORING, BIOSPHERE POLLUTION, SOURCES OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION, INVENTORY OF INDUSTRIAL FACILITIES, INSTRUMENTAL INVENTORY METHOD, UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV), INSTRUMENT COMPLEX BASED ON UAVS.

REFERENCES

1. Levitanus B. A., Ada A. L. Challenges and threats to the environmental safety of the Russian Federation: a theoretical and legal aspect // Scientific Notes of the Faculty of Law. 2021. No. 1. P. 50–54. [In Russ.].
2. Karapuzov M. Y. The possibilities of using the latest technologies as a way to overcome the environmental crisis // Socio-humanitarian knowledge. 2020. No. 1. P. 284–292. [In Russ.].
3. Pakhomova P. S., Potemkina S. N. Unmanned aerial vehicles for digital transformation of small farms // Economic and mathematical methods of analyzing the activities of agricultural enterprises: VI International Scientific and Practical Conference. Saratov: Tsesain LLC, 2022. P. 329–336. [In Russ.].
4. Neverova O. P. Measures for pollution prevention and air purification // Animal husbandry technologies: problems and prospects. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University, 2023. P. 180–181. [In Russ.].
5. Zaitseva N. V., Zhdanova-Zaplesvichko I. G., Zemlyanova M. A. [and others] The experience of organizing and conducting sanitary and epidemiological studies to identify and prove the link between public health disorders and atmospheric air quality in areas of influence of economic entities // Population health and habitat — ZNiSO. 2021. No. 1(334). P. 4–15. [In Russ.].
6. Firstova Zh. Yu. The problem of atmospheric air pollution // From knowledge synergy to business synergy: Collection of articles and abstracts of the XI International scientific and practical conference of students, undergraduates and teachers. Omsk: KAN Publishing Center, LLC, 2024. P. 291–293. [In Russ.].
7. STATE REPORT 2022 ON the state and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2022 // Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: <https://2022.ecology-gosdoklad.ru/doklad/atmosfernyy-vozduh/vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv/> (date of access: 18.01.2024). [In Russ.].

8. Medvedev Yu. N., Shaitura N. S. Measurement errors and their assessment. Burgas: Institute for Humanities, Economics and Information Technology=Institute of Humanities, Economics and Information Sciences, 2023. 92 p. [In Russ.].

9. On Approval of the Procedure for Conducting an Inventory of Stationary Sources and Emissions of Pollutants into Atmospheric Air, correcting its data, documenting and Storing Data Obtained as a Result of Such Inventories and Adjustments: Order No. 871 of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated November 19, 2021. [electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727251276?marker=6540IN> (accessed: 08/13/2023). [In Russ.].

10. On approval of the Rules for the Development and Approval of Methods for calculating emissions of Harmful (Polluting) substances into atmospheric air from stationary sources: Decree of the Government of the Russian Federation dated 05/16/2016 No. 422. [electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_198019/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (date of access: 08/12/2023). [In Russ.].

11. Zhelavsky M. A., Deryuzhov M. G. The concept of creating an operational environmental monitoring system for atmospheric air in a modern megalopolis based on a promising unmanned aircraft system (using the example of St. Petersburg) // Youth. Technic. Cosmos: Proceedings of the fifteenth All-Russian Youth Scientific and Technical Conference. Saint Petersburg: Baltic State Technical University «Voenmeh», 2023. P. 11–16. [In Russ.].

12. Rybak V. A., Ryabukhina O. P. The system of environmental monitoring of atmospheric air // Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 2020. Vol. 18. No. 4. P. 36–43. [In Russ.].

13. Hitchcock C. R., Causal Decision Theory and Decision-Theoretic Causation // Noûs. 1996. No. 30(4). P. 508–526.

14. Decree of the President of the Russian Federation No. 12 dated January 11, 2018 «On Approval of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the field of protection of the population and territories from emergency situations for the period up to 2030» [Electronic resource]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_287639/ (date of access: 08/12/2023). [In Russ.].

15. Zubarev N. Yu., Yurasova A. A., Glezman L. V. and others. Development of the unmanned aerial vehicle market in agriculture in the regions of the Russian Federation // The economics of agriculture in Russia. 2023. No. 11. P. 65–73. [In Russ.].

16. Soldatov E. A., Kulnev S. V., Shvets V. A., Bigunets V. D. Prospects of using unmanned aerial vehicles in the interests of the medical service during emergency response // Medical, biological and socio-psychological safety problems in emergency situations. 2010. No. 2. P. 50–55. [In Russ.].

17. Żeliński J, Bigda R, Kucbel M, et al Using a Unmanned Aerial Vehicle to Assess Air Pollution and Identify Dominant Emission Sources // Journal of Ecological Engineering. 2022. Vol. 23. No. 12. P. 134–144.

18. Shikula E. R., Gusenko N. S., Simanovich L. N. Civilian drones in the legislation of Russia and Japan // Eurasian Advocacy. 2019. No. 1(38). P. 109–111. [In Russ.].

19. Simanovich S. V. Some aspects of the implementation of remote measurement technology in the inventory of emission sources of transport infrastructure facilities // Railway transport and technology: proceedings of the international scientific and practical conference. Yekaterinburg: Ural State University of Railway Transport, 2023. P. 267–269. [In Russ.].