

УДК 621.396.4
<https://doi.org/10.31854/3034-2201-2026-4-2-C04>
EDN: KOGYDA

Особенности разработки системы контроля загрязнения атмосферы на базе БПЛА

Казанцева А. Г. ✉, Бухинник А. Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

Постановка задачи. В настоящее время активно развиваются методы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, однако подход к контролю загрязнений имеет некоторые недостатки. Разработка приборов контроля с использованием БПЛА позволяет решить ряд задач. **Целью исследования** является обоснование параметров контроля загрязнения атмосферного воздуха, выбор датчиков и разработка контроллера сбора данных, предназначенного для установки на БПЛА. **Используемые методы:** приведен статистический анализ данных автоматизированной системы мониторинга состояния атмосферного воздуха; проведен обзор законодательных требований, обосновывающий перечень загрязняющих веществ. **Новизна:** в статье предлагается помимо датчиков контроля концентраций загрязняющих веществ дополнить систему измерениями температуры, влажности и давления. **Результат:** разработана структурная схема контроллера сбора данных с использованием газоанализаторов типа Сенсон-СМ-9001. **Практическая значимость:** предложенная схема может быть реализована при разработке системы контроля загрязнения воздуха при помощи БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, мониторинг загрязнения атмосферного воздуха, газоанализатор, контроллер сбора данных

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, соглашение № 071-03-2025-005, «Прикладные научные исследования в области создания и развития систем телеметрии, управления и связи для беспилотных авиационных систем на период до 2030 года с учетом импортозамещения» (регистрационный номер ПТНИ: 1024032900105-1).

Актуальность исследования

В 2019 г. был запущен федеральный проект «Чистый воздух», в рамках которого за счет модернизации предприятий планируется достичь снижения выбросов опасных веществ. Предприятия устанавливают приборы контроля на источниках выбросов и разрабатывают планы по их снижению. В этой ситуации возникает необходимость контроля, который позволял бы оценивать вклад каждого конкретного предприятия в формирование приземных концентраций загрязнителей воздуха.

В настоящее время основным инструментом оценки загрязнения атмосферного воздуха остается методика расчета рассеивания, которая представляет собой упрощенную математическую модель для

Библиографическая ссылка на статью:

Казанцева А. Г., Бухинник А. Ю. Особенности разработки системы контроля загрязнения атмосферы на базе БПЛА // Вестник СПбГУТ. 2026. Т. 4. № 2. С. 4. EDN: KOGYDA

Reference for citation:

Kazantseva A., Buhinnik A. Features of Developing an Air Pollution Monitoring System Based on a UAV // Herald of SPbSUT. 2026. Vol. 4. Iss. 2. P. 4. EDN: KOGYDA

определения концентраций загрязняющих веществ на расстоянии от источника выброса. Широкое распространение этой модели объясняется отсутствием инструментов оценки влияния (или вклада) источников на формирование концентрации загрязняющего вещества, что важно при разработке природоохранных мероприятий, определения величины снижения выбросов в периоды неблагоприятных метеорологических условий и т. д. Существует несколько расчетных программ, которые реализуют эту методику. Результаты представлены в графическом виде и в виде таблицы с данными о концентрациях веществ в конкретной расчетной точке. Пример графического представления результатов расчета приведен на рисунке 1; на рисунке 2 показана выкопировка отчета программы расчета рассеивания, где выделены результаты расчета вклада каждого источника в формирование концентраций в расчетной точке. На основании данных расчетов в том числе определяется и местоположение постов контроля загрязнений атмосферного воздуха в крупных городах.

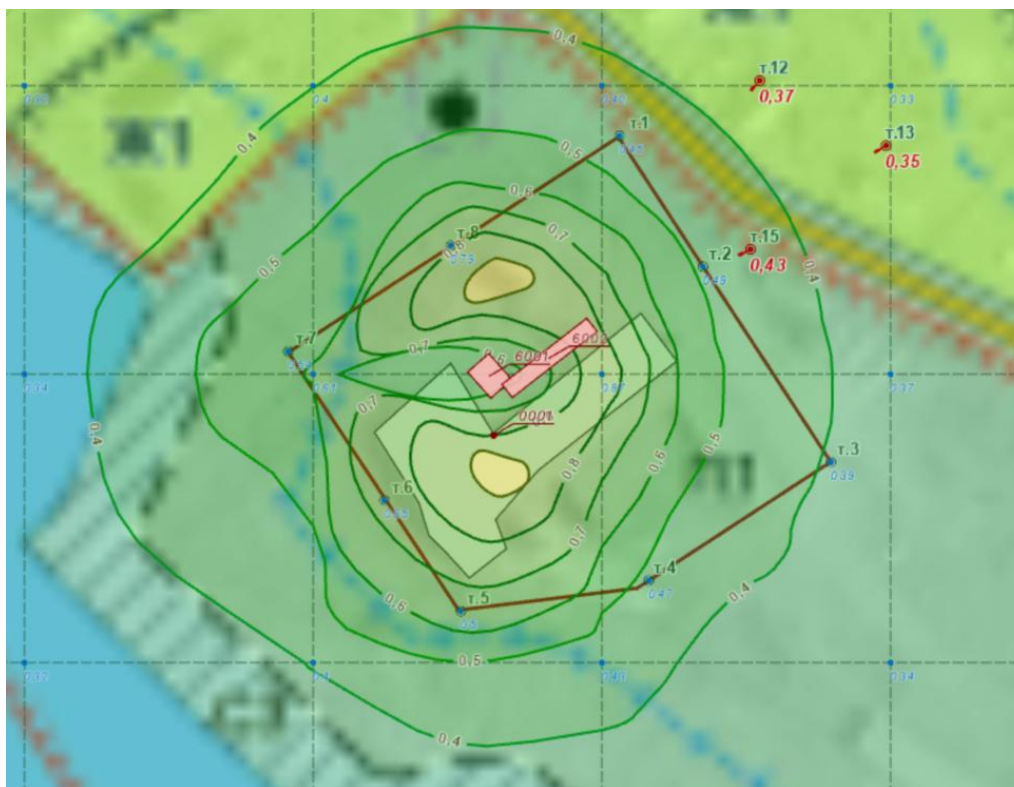


Рис. 1. Графическое представление результатов расчета рассеивания

■ Таблица №15.2 — Значения расчётных концентраций в точках

№ п/п РО	Тип	Координаты		Высота, м	Концентрация		Фон, д.ПДК	Вклад, д.ПДК	Ветер		Вклад источника выброса		
		Х	У		д.ПДК	мг/м³			u, м/с	φ, °	пл.цех.уч.ИЗАР	д.ПДК	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	Жил.	1517126,14	389771,6	2	0,46	0,09	0,33	0,13	6	184	1.020.02.0117	0,12	26,2
4	Жил.	1517186,46	389675,39	2	0,47	0,094	0,32	0,15	6	189	1.020.02.0117	0,14	29,9
5	Жил.	1517299,42	389660,2	2	0,47	0,094	0,32	0,15	6	198	1.020.02.0117	0,14	29,36
6	Жил.	1517386,3	389506,7	2	0,49	0,1	0,3	0,19	4,6	210	1.020.02.0117	0,17	34,28
7	Жил.	1517421,6	389429,6	2	0,5	0,1	0,3	0,21	4,1	217	1.020.02.0117	0,19	37,12
8	Жил.	1517435,4	389374,7	2	0,51	0,1	0,29	0,22	3,5	222	1.020.02.0117	0,2	39,57
9	Жил.	1517441,5	389333,1	2	0,52	0,105	0,28	0,24	2,9	225	1.020.02.0117	0,22	41,77
10	Жил.	1517419,59	389260,01	2	0,56	0,11	0,26	0,29	1,6	230	1.020.02.0117	0,27	48,61
											1.020.01.0264	0,01	1,84
											1.020.02.0116	0,0085	1,52
11	Жил.	1517480,4	389219,2	2	0,54	0,11	0,27	0,27	1,7	231	1.020.02.0117	0,25	45,74
12	Жил.	1517510,1	389181,5	2	0,54	0,11	0,28	0,26	1,8	244	1.020.02.0117	0,24	44,94

Рис. 2. Выкопировка отчета расчета рассеивания

Исследование существующих систем мониторинга на примере Красноярск

Долгое время проверить эффективность расчета рассеивания не представлялось возможным, однако с 2019 г.¹ крупные предприятия начали оснащать источники выбросов средствами контроля / учета. Авторами было проведено исследование системы мониторинга выбросов в Красноярске, который является активным участником федерального проекта «Чистый воздух» [1].

В Красноярске Краевым государственным бюджетным учреждением «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (КГБУ «ЦРМ-ПиООС») реализована автоматизированная система мониторинга состояния окружающей среды, представленная на официальном сайте². Система состоит из девяти аналитических пунктов наблюдения (АПН), которые представляют собой павильоны, оснащенные оборудованием для автоматического круглосуточного измерения массовых концентраций загрязняющих веществ, обработки полученных данных, их хранения и передачи накопленной информации на удаленный компьютер, и датчиков контроля выбросов, установленных на источниках загрязнений (ИЗ) крупных предприятий (на рисунке 3 обозначены фиолетовым цветом):

ИЗ № 1 – Красноярская ТЭЦ-1, труба № 5 (Красноярск, ул. Фестивальная, д. 2);

ИЗ № 2 – Красноярская ТЭЦ-2, труба № 2 (Красноярск, ул. Лесопильщиков, д. 156);

ИЗ № 3 – ООО «Красноярский цемент» (Красноярск, ул. Краснопресненская, д.1).

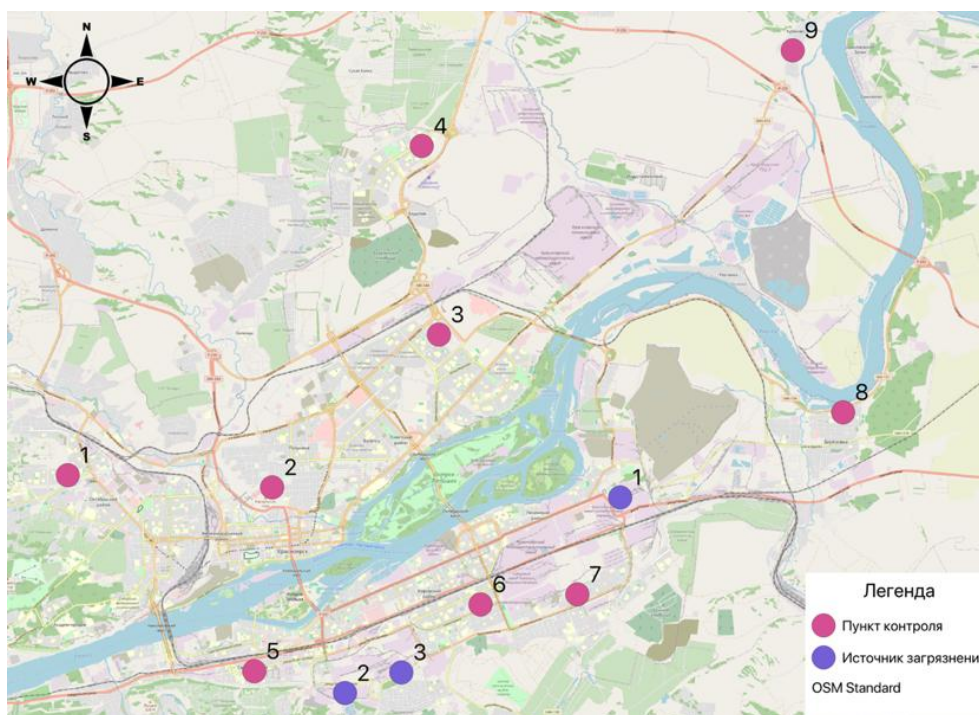


Рис. 3. Схематический план расположения постов наблюдений и источников выбросов

Было проведено аналитическое исследование данных АПН и источников выбросов за период с 25.09.2024 г. по 01.03.2025 г. Сравнение проводилось по трем веществам: оксид углерода, диоксид азота и диоксид серы.

Исследование было разделено на несколько этапов; на первом из них оценивалась корреляция между значениями концентрации веществ на АПН и значениями выбросов на ИЗ. Результаты приведены в таблице 1.

¹ Постановление Правительства РФ от 13 марта 2019 г. № 263 «О требованиях к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, к техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду».

² Краевая ведомственная информационно-аналитическая система данных о состоянии окружающей среды Красноярского края. URL: <http://krasecology.ru/>

Таблица 1. Результаты расчетов коэффициентов корреляции данных АПН и ИЗ

№ АПН	Значение коэффициента корреляции Пирсона								
	Оксид углерода			Диоксид азота			Диоксид серы		
	ИЗ № 1	ИЗ № 2	ИЗ № 3	ИЗ № 1	ИЗ № 2	ИЗ № 3	ИЗ № 1	ИЗ № 2	ИЗ № 3
1	0,119	0,219	0,127	0,295	0,243	0,328	0,175	-0,07	0,109
2	0,224	0,433	-0,05	0,19	0,202	0,421	0,27	0,17	0,194
3	0,081	0,271	0,192	-0,156	-0,186	0,11	0,089	0,33	0,02
4	0,086	0,142	0,137	0,082	0,37	0,086	0,32	0,201	0,181
5	0,053	0,1	0,281	0,112	0,393	-0,089	-0,21	0,115	0,003
6	0,103	0,127	0,205	-0,013	0,022	0,218	0,102	0,021	0,231
7	0,086	0,063	0,103	0,529	0,201	0,686	0,286	0,13	0,34
8	0,049	0,184	0,005	0,267	0,176	0,128	0,084	0,222	0,001
9	-0,018	-0,116	-0,04	0,539	0,237	0,496	-0,304	0,3	0,031

В таблице выделены наибольшие значения. Они были получены для диоксида азота на АПН № 7 и 9 для ИЗ № 1 и 3, поэтому дальнейшее исследование проводилось для этих постов и источников по указанному веществу.

Прежде чем исключить данные из исследования, был проведен аналитический поиск в сети Интернет, который позволил предположить, что небольшая корреляция для двух других постов обусловлена наличием другого крупного источника, данные о выбросах которого отсутствуют на сайте. Вблизи пунктов контроля расположен крупнейший производитель алюминия в России – «Красноярский алюминиевый завод» (КрАЗ). Согласно материалам экологической оценки проекта «Красноярский алюминиевый завод. Экологическая реконструкция», представленные в документе ОВОС³ объемы выбросов оксида углерода на КрАЗ превышают показатели исследуемых предприятий в 25 раз, а выбросы диоксида серы – примерно в шесть раз. Однако по выбросам диоксида азота ситуация противоположная: завод выбрасывает втрое меньше этого вещества, чем объекты, исследуемые в данной работе. Отсюда можно заключить, что среди трех исследованных загрязняющих веществ (оксид углерода, диоксид азота и диоксид серы) статистически значимая взаимосвязь выявлена исключительно для диоксида азота, предположительно из-за деятельности завода. Однако достоверно подтвердить или опровергнуть это предположение не представляется возможным из-за отсутствия методов и инструментов, которые позволяли бы оценить вклад каждого из источников.

На следующем этапе на основе метеорологических данных КГБУ «ЦРМПиООС»⁴ были построены розы ветров для пунктов контроля № 7 и 9, благодаря чему были определен диапазон значений азимута юго-западного ветра, который варьируется в пределах от 202,5° до 247,5°. Анализ линий тренда позволил сузить этот диапазон до значений от 205° до 240°, т. е. при указанных значениях азимута наблюдается наибольшая зависимость концентрации загрязняющих веществ от величины выброса от предприятий. Коэффициент аппроксимации (R^2) в этом диапазоне больше 0,9. Именно для значений выбросов и концентраций в этом диапазоне были проведены дальнейшие исследования таких метеорологических параметров, как давление, влажность и скорость ветра. Анализ зависимостей для каждого пункта контроля и источника осуществлялся попарно.

Для АПН № 7 и ИЗ № 1 наблюдалась положительная корреляция с атмосферным давлением, составившая $R = 0,75$, что свидетельствует о значительном влиянии атмосферного давления на концентрацию загрязняющих веществ. Относительная влажность также оказывала влияние, однако оно было менее выраженным: $R = 0,59$.

³ Оценка воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности «Красноярский алюминиевый завод. Экологическая реконструкция». Книга 1. Предварительный вариант материалов по ОВОС. Ч. 1. Пояснительная записка. СПб.; Новокузнецк, 2022. 463 с.

⁴ Краевая ведомственная информационно-аналитическая система данных о состоянии окружающей среды Красноярского края. URL: <http://krassecology.ru>

Для АПН № 7 и ИЗ № 3 наблюдается обратная зависимость показателя от скорости ветра при низких скоростях (до 1 м/с), характеризующаяся отрицательным коэффициентом корреляции $R = -0,68$: чем ниже скорость ветра, тем выше уровень загрязнения. Давление и влажность не оказывают значимого влияния на концентрации веществ от ИЗ № 3 на данном пункте контроля.

Для АПН № 9 и ИЗ № 1 при низкой скорости ветра коэффициент корреляции с атмосферным давлением равен $-0,27$, демонстрируя незначительное обратное воздействие атмосферного давления на концентрацию загрязняющих веществ. Однако при скорости ветра от 1 м/с наблюдается значительное увеличение коэффициента корреляции с давлением ($R = 0,86$), что подчеркивает важную роль скорости ветра и атмосферного давления в распространении загрязнений.

Для АПН № 9 и ИЗ № 3 исследование проводилось поэтапно. Сначала была получена высокая положительная связь ($R = 0,71-0,74$) между концентрациями загрязняющих веществ и изменением скорости ветра при сохранении одной и той же величины выброса на источнике. Затем при постоянных значениях скорости ветра (< 1 м/с) обнаружилась еще более сильная положительная корреляция $R = 0,87$ между концентрациями загрязняющих веществ и изменениями атмосферного давления. Отмечена обратная слабая связь ($R = -0,47$) с влажностью воздуха, что говорит о ее второстепенной роли во влиянии на изменение концентраций веществ на пункте контроля.

Наибольшая зависимость между концентрациями загрязняющих веществ на АПН № 7 и выбросами на ИЗ № 3 наблюдалась при скорости ветра $0,418 \pm 0,128$ м/с. На АПН № 9 от ИЗ №1 эта скорость составила $2,242 \pm 0,526$ м/с.

Проведенные исследования доказали, что система контроля выбросов дает хорошие результаты при малых скоростях ветра; это косвенно доказывает, что местоположение АПН определялось исходя из результатов расчетов рассеивания по методике Министерства природных ресурсов и экологии РФ⁵. Математическая модель, на основе которой разработана методика, предполагает определение концентраций загрязняющих веществ при минимальной скорости ветра, однако практика доказывает, что этого недостаточно. Исследование коэффициента корреляции между концентрацией загрязняющих веществ и количеством выбросов в периоды неблагоприятных метеорологических условий показало слабую линейную связь.

Обоснование выбора измеряемых параметров для системы контроля

Газовоздушная смесь в сравнении с атмосферным воздухом обладает большей динамической вязкостью, которая, в свою очередь, зависит от температуры и давления газа. Теоретические расчеты, приведенные в [2], показали, что выброс может отличаться от атмосферного воздуха в 200–400 раз по вязкости, поэтому именно она позволяет определить наличие загрязнения.

Исследования показали, что для определения местоположения источников выбросов недостаточно датчиков контроля загрязняющих веществ. Кроме того, существующие методы не могут дать полноценной картины загрязнения из-за невозможности отслеживать его распространение от источника. Эту проблему может решить мобильное устройство, такое как БПЛА.

В последнее время надзорные органы активно используют БПЛА в своей деятельности: контролируют состояние лесов, несанкционированные свалки, разливы нефтепродуктов. Однако область применения БПЛА может быть расширена для контроля загрязнения атмосферного воздуха и источников выбросов, для чего необходимо оснащение газоанализатором и аппаратурой передачи данных в наземный пункт наблюдения. Газоанализатор, устанавливаемый на БПЛА, нужно дополнять датчиками давления и температуры, которые позволили бы оценивать «смешиваемость» газовоздушных смесей. Такой подход даст новые возможности для исследований распространения загрязнений.

Количество веществ, подлежащих государственному контролю, определяется на основании соответствующего распоряжения Правительства⁶ и составляет 199 единиц. Анализ данных статистической

⁵ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 06 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

⁶ Распоряжение Правительства РФ от 20 октября 2023 г. № 2909-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».

отчетности по охране атмосферного воздуха за 2024 г.⁷ показал, что наибольший вклад в загрязнения вносят следующие вещества:

- оксид углерода: количество выбросов составило 5 244 564,032 т (35,8 %);
- метан: количество выбросов – 3 601 863,8 т (24,6 %);
- диоксид серы: количество выбросов – 2 571 728,9 т (17,6 %);
- оксиды азота: количество выбросов – 1 984 691,1 т (13,5 %).

Выбросы остальных веществ составляют менее 10 % от общего объема, поэтому для контроля загрязнения с применением БПЛА предлагается именно этот перечень веществ дополнить аммиаком и сероводородом. Сероводород относится к веществам 2-го класса опасности. Он присутствует в выбросах очистных сооружений, резервуаров хранения топлива, целлюлозно-бумажных комбинатов. Выбросы аммиака характерны для объектов животноводства и производства удобрений. Диапазоны обнаружения веществ были определены исходя из нормативов качества атмосферного воздуха (таблица 2).

Таблица 2. Нормативы качества и диапазоны обнаружения загрязняющих веществ

№ п/п	Наименование вещества	Нормативы качества					Нижний предел обнаружения, мг/м ³	Верхний предел обнаружения, мг/м ³
		ПДК _{мр} , мг/м ³	ПДК _{сс} , мг/м ³	ПДК _{сг} , мг/м ³	ОБУВ, мг/м ³	Класс опасности		
1	Диоксид азота	0,2	0,1	0,04		3	0,001	1
2	Оксид углерода	5	3	3		4	0,01	25
3	Диоксид серы	0,5	0,05			3	0,001	2,5
4	Метан				50		5	250
5	Сероводород	0,008		0,002		2	0,001	0,04
6	Аммиак	0,2	0,1	0,04		4	0,001	1

ПДК_{мр} – максимальная разовая предельно допустимая концентрация – концентрация химического вещества в воздухе жилых зон, которая при вдыхании в течение 20 минут не должна вызывать рефлекторных реакций (кашель, ощущение запаха и др.);

ПДК_{сс} – среднесуточная предельно допустимая концентрация химического вещества, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного влияния при вдыхании его в течении суток;

ПДК_{сг} – среднегодовая предельно допустимая концентрация химического вещества, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного влияния при вдыхании его в период длительного воздействия от года и более;

ОБУВ – ориентировочно безопасный уровень воздействия – максимальная концентрация химического вещества, которая не оказывает вредного воздействия на человека; показатель является временным гигиеническим нормативом и устанавливается до определения ПДК и класса опасности вещества.

Выбор измерительных датчиков и разработка контроллера сбора данных

Автоматизированные системы дистанционного мониторинга на базе универсального контроллера получили широкое распространение применительно к промышленным объектам [3], опыт их разработки может быть использован для контроля загрязнения атмосферного воздуха при помощи БПЛА.

Особенности проведения измерений при помощи БПЛА диктуют специфические требования к приборам, которые могут быть использованы, и прежде всего это касается веса аппаратуры и условий передачи сигнала в центральный пункт наблюдения (ЦПН).

Измерение концентрации загрязняющих веществ осуществляется по следующей схеме: составляется план полета, включающий координаты точек на санитарно-защитной зоне предприятия, границе земельного участка и жилой застройки. Замеры в конкретных точках осуществляются по командам, полученным от ЦПН по каналу мобильной связи. Результаты замеров в сопровождении географических координат точки, полученных от модуля GPS / GLONASS, входящего в состав бортового оборудования, передаются в контроллер сбора данных (далее КСД), по команде от которого производятся повторные замеры, и БПЛА либо перелетает в следующую точку контроля, либо возвращается.

⁷ Информация об охране атмосферного воздуха // Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect/> (дата обращения 07.11.2025).

Такое управление определяет выбор между аналоговыми датчиками и газоанализаторами в пользу последних, поскольку газоанализаторы имеют внутренние схемы аналого-цифрового преобразования и представляют результаты в цифровом виде через последовательный интерфейс RS-232⁸.

В свою очередь, газоанализаторы разделяются на одноканальные (предназначенные для измерения уровня одного газа) и многоканальные. Последние представляют собой готовые измерительные приборы⁹, что вызывает сложности их размещения на БПЛА. Кроме того, протокол их стыка с компьютером, как правило, закрыт. Поэтому для разрабатываемой системы экологического контроля наибольший интерес представляют одноканальные малогабаритные газоанализаторы.

Все газоанализаторы подразделяются на типы, соответствующие методу измерения уровня газа: электрохимический, термокаталитический, полупроводниковый, инфракрасный.

Электрохимический метод характеризуется низкой ценой, широким диапазоном измеряемых веществ, низким энергопотреблением, однако невысокой точностью измерений.

Термокаталитический метод является наиболее простым и отличается небольшой точностью и низкой устойчивостью к перегрузкам и каталитическим компонентам, малым сроком службы, необходимостью поддерживать содержание кислорода, так как для измерений используется реакция окисления.

Полупроводниковый метод имеет приемлемую стоимость, большой диапазон рабочих температур, низкую инертность, но при этом малую точность, невысокую селективность и долгое время регенерации; кроме того, велик риск отравления органическими веществами.

Инфракрасный метод имеет высокую точность, а соответствующие датчики способны работать в любых средах и любых газах, но при этом характеризуются высокой стоимостью и необходимостью следить за загрязнением оптических путей и влажностью, которые могут внести существенную погрешность в измерения.

По совокупности показателей из рассмотренных методов измерений для разрабатываемой системы экологического контроля следует выбрать электрохимический метод.

Среди рассмотренных газоанализаторов для разрабатываемой системы наилучшими представляются относящиеся к типу Сенсон-СМ-9001. Они имеют варианты исполнения для всех требуемых веществ и характеризуются малыми габаритами (цилиндр 25 × 35 мм) и весом (не более 30 г) при приемлемом энергопотреблении (не более 1 Вт от источника питания 3,3 В). Данные от газоанализатора передаются через стык RS-232 в описанном протоколе.

От ЦПН к КСД в параметрах настроек передается список требуемых на данном объекте каналов сбора данных (для уменьшения энергопотребления КСД). Каждый из газоанализаторов имеет собственную схему питания, которая управляется микроконтроллером КСД по каналу RS-232. В газоанализаторах типа Сенсон используется унифицированная система команд. На рисунке 4 представлена структурная схема планируемого к реализации КСД, включающая:

- микроконтроллер (МК);
- блок газоанализаторов (ГА) на 6 каналов;
- Flash-память для хранения результатов изменений;
- датчик температуры и влажности (Датч. ТВ);
- датчик давления воздуха (Датч. двл.);
- GSM GPRS/4V модем для связи с ЦПН;
- модуль GPS / GLONASS для передачи в ЦПН географических координат точки наблюдения,
- преобразователь напряжения (ПН), питающий КСД напряжением +3,3 В от аккумулятора 6–12 В, либо от выхода БПЛА.

⁸ Преобразователь измерительный термокаталитический ГР1.0-МК. Паспорт. ЕКРМ.413226.002-01ПС; ОВЕН ПКГ100-CO2. Преобразователь концентрации газа. Руководство по эксплуатации. М., 2024 г.; Преобразователь измерительный с интеллектуальным сенсорным модулем А300. Паспорт ЕКРМ.413411.007 ПС. Преобразователь измерительный с интеллектуальным сенсорным модулем С300 Паспорт ЕКРМ.413411.008 ПС ЕКРМ.413411.008 ПС; Преобразователь измерительный термокаталитический ГР1.0-МК. Паспорт ЕКРМ.413226.001-01ПС; Газоанализатор Сенсон-СМ-9001. Руководство по эксплуатации. ТЦВА 413739.001 РЭ.

⁹ СЕНСОН-М – Газоанализатор переносной шестиканальный // ЭкоСфера. URL: <https://ekosf.ru/product/senson-m/?ysclid=mlb5zqf7q9444511165> (дата обращения 07.11.2025).

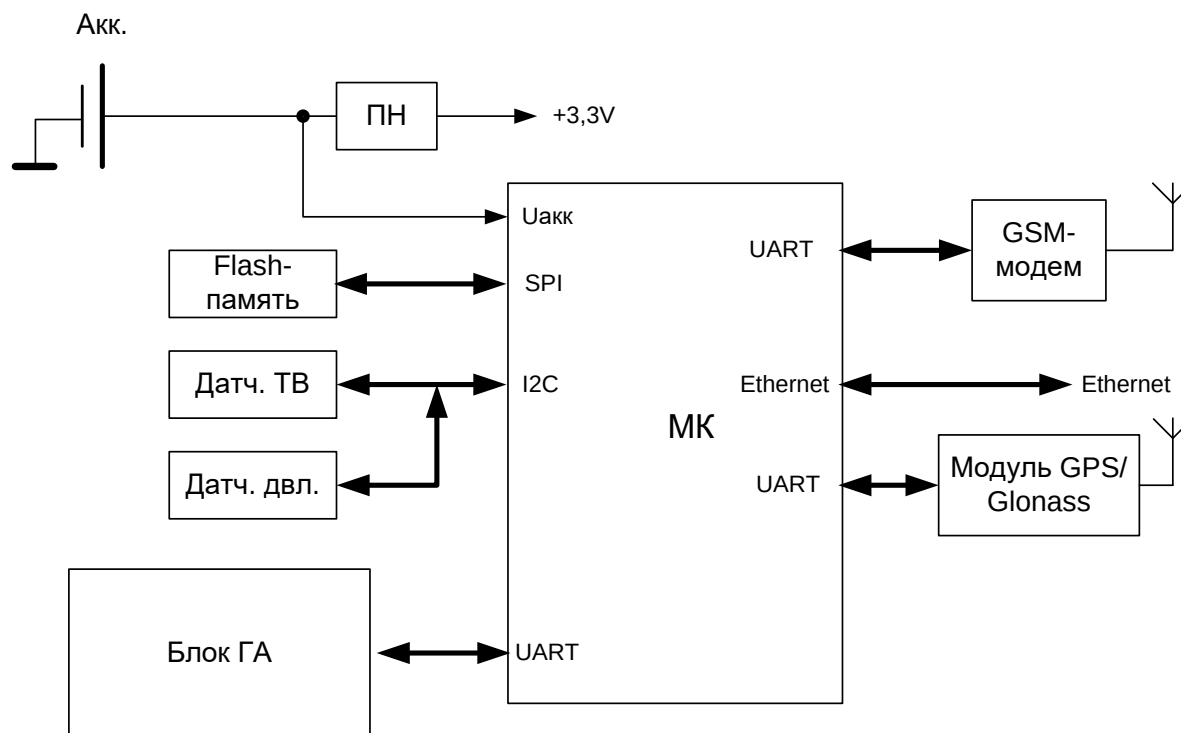


Рис. 4. Структурная схема КСД

Выводы

Анализ сложившейся практики в области контроля загрязнения атмосферного воздуха показывает, что существующая система имеет ряд недостатков, которые могут искажать реальную картину распространения загрязнений. Существующих методов инструментального контроля недостаточно, поскольку они ориентируются на наземные измерения, что не отражает картину в целом.

Для решения задач по измерению концентрации загрязняющих веществ на разных высотах целесообразно применять БПЛА, дополнительно оснащаемые оборудованием с использованием газоанализатора типа Сенсон-СМ-9001 и контроллера сбора данных, схема которого представлена в статье. Разработка подобного устройства может стать основой нового подхода к охране атмосферного воздуха и нормированию выбросов предприятий.

Литература

1. Казанцева А. Г., Цветкова И. Ю. Исследование зависимости концентрации загрязняющих веществ от выбросов крупных предприятий на основе данных автоматизированной системы мониторинга г. Красноярска // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре в эпоху цифровой трансформации (ПКМ-2024): Сборник лучших докладов V Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей. В 2-х томах. СПб., 2025. С. 570–574. EDN: AYFTVX
2. Казанцева А. Г., Цветкова И. Ю. Исследование влияния температуры выбросов на изменение концентрации загрязняющих веществ // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023, Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 марта 2023 г.): сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 283–288. EDN: UHKUIK
3. Барбанель Е. С., Бойков М. С., Бухинник А. Ю., Точилев В. Н. Организация автоматизированных систем дистанционного мониторинга и управления на уровне контролируемый пункт – диспетчерский пункт на базе универсального контроллера UCSUT-01 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2024. № 1. С. 1–15. DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-1-1-15. EDN: GKGORC

Статья поступила 24 марта 2026 г.
Одобрена после рецензирования 28 мая 2026 г.
Принята к публикации 12 августа 2026 г.

Информация об авторах

Казанцева Анна Геннадьевна — кандидат технических наук, доцент кафедры экологической безопасности телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: kazanceva.ag@sut.ru

Бухинник Александр Юрьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории систем передачи телеметрической информации Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Features of Developing an Air Pollution Monitoring System Based on a UAV

A. Kazantseva ✉, A. Bukhinnik

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Purpose. Methods for monitoring air pollution are being actively developed; however, there are a number of shortcomings in the approach to pollution control. The development of monitoring devices using unmanned aerial vehicles makes it possible to address a number of issues. The aim of the work is to substantiate the parameters for monitoring air pollution, select sensors, and develop a data collection controller designed for installation on UAVs. **Methods.** The methods based on the analysis of data from an automated air quality monitoring system, a list of pollutants, as well as the pressure and temperature of emissions, is proposed for monitoring. **Novelty.** The article proposes, in addition to sensors for measuring the concentration of pollutants, to supplement the system with measurements of temperature, humidity, and pressure. **Result.** The paper presents a structural diagram of a data collection controller using gas analyzers of the Sensom-SM-9001 type. **Practical significance.** The proposed scheme can be implemented when developing an air pollution monitoring system using UAVs.

Key words: UAV, air pollution monitoring, gas analyzer, data collection controller

Information about Authors

Kazantseva Anna — Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Environmental Safety of Telecommunications (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: kazanceva.ag@sut.ru

Bukhinnik Alexander — Ph. D. of Engineering Sciences, Senior Researcher at the Research Laboratory of Telemetric Information Transmission Systems (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications)