

Ю.С. Балин, Б.Д. Белан, А.И. Надеев, М.В. Панченко

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ <ГОРОД>

Рассмотрены концепция, структура и состав системы оперативного контроля загрязнения воздушного бассейна промышленных центров, разрабатываемой в Институте оптики атмосферы СО РАН. Она объединяет два основных принципа построения подобных систем: пространственно-репрезентативный и <ориентированный на источники> путем введения в структуру системы сканирующих аэрозольных и СКР-лидаров. Приведены технические характеристики и принципы функционирования системы.

Проблема загрязнения и контроля окружающей среды приобрела особое значение в последние 20–30 лет, когда в различных регионах Земли начали наблюдаться необратимые изменения природы или возникать опасные явления, приводящие к массовым заболеваниям или гибели людей, животных, птиц, рыб, растений. В качестве примеров можно привести гибель 5000 лондонцев в период смоговых туманов 1953 и 1957 гг. [1]; появление новых заболеваний типа Хай-Хай и Минамото в Японии, вызванных загрязнением ртутью и кадмием воды и рыбы [2, 3]; изменения в озоновом слое, вызванные реакциями с фреонами [4].

Свое решение проблемы экологии находят в организации мониторинга окружающей среды, осуществляемого под эгидой Всемирной метеорологической организации (ВМО), Всемирной службы погоды (ВСП) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Наиболее полно концепция этого мониторинга изложена в [5]. В общей проблеме контроля состояния окружающей среды одним из важнейших направлений является мониторинг атмосферного воздуха.

В мире известно более 5 млн химических соединений, из которых свыше 60 тыс. наименований выпускается промышленностью [6]. При этом общий объем производства химических соединений во всем мире возрастает каждые 10 лет в 2,5 раза [7]. Каждое производимое или применяемое химическое соединение в той или иной степени, а иногда полностью, попадает в атмосферу и накапливается в ней или подвергается химическим превращениям. В результате количество соединений, которое может одновременно присутствовать в атмосфере, оказывается много больше 60 тыс. Естественно, что такое количество соединений проконтролировать очень сложно, а организовать их постоянный мониторинг практически невозможно.

Вследствие этого при создании систем мониторинга атмосферного воздуха приходится опираться на какие-то опорные соединения, характеризующие определенные группы веществ. В конечном итоге структура системы контроля получается как компромисс между желанием измерять как можно больше и экономическими затратами на проведение этих измерений.

В большинстве зарубежных государств сложилась двухуровневая система мониторинга окружающей среды, состоящая из федеральных и местных органов [8, 9]. В России предполагается трехуровневая: федеральные, региональные и локальные органы [10], что с учетом масштабов государства, по-видимому, оправдано. Исходя из того, что в любом случае базовым является местный или локальный контроль, в настоящей статье речь пойдет о самой нижней ячейке системы общего мониторинга – подсистеме контроля воздушного бассейна крупного промышленного центра.

1. Общая характеристика систем оперативного контроля

В настоящее время автоматизированные системы оперативного контроля воздушного бассейна созданы в отдельных городах США [11, 12], Японии [13, 14], Италии [15,16], Франции [17,18], Германии [19–21] и ряде других стран. В некоторых странах они охватывают целые регионы, например, район Иль-де-Франс (Франция) или штат Нью-Джерси (США) [9].

Более того, в Японии каждая из 47 префектур имеет свою систему контроля, представляющую единую сеть по всей стране [8].

В бывшем СССР Госкомгидрометом и Минприбором для контроля загрязнения воздуха в городах разрабатывалась система АНКОС-АГ, которая базировалась на отечественных приборах и вычислительной технике [22, 23]. Система сдана в опытную эксплуатацию в ряде промышленных центров: Ленинграде, Кемерове, Казани [24]. Однако по ряду причин широкого распространения АНКОС не получила и работы по ее дальнейшей модернизации остановлены [25].

Многообразие подходов к созданию систем оперативного контроля воздуха не позволяет в рамках одной статьи отразить все их особенности, но можно отметить некоторые общие тенденции.

Как правило, основными элементами автоматизированных систем оперативного контроля воздушного бассейна промышленного центра являются наземные стационарные посты или датчики, мобильные измерительные комплексы и центр сбора и обработки информации.

Общим для этих систем является построение их по централизованному принципу: получение исходных данных на периферийных станциях или датчиках и передача информации на центральный пункт управления (реже на кустовой пункт) или центральную ЭВМ. Для связи элементов системы между собой используются обычно специальные или общественные телефонные каналы, реже радиоканалы.

Перечень контролируемых ингредиентов может существенно отличаться на разных станциях как внутри одной, так и в разных системах. Число измеряемых параметров на станции или посту может быть минимальным, либо достигать до 30. Измерения производятся автоматически, с частотой опроса от 1 до 10^{-4} Гц.

В состав периферийных станций и постов в большинстве случаев включаются блоки измерения метеовеличин. При этом набор измеряемых элементов – переменный. В простейшем случае регистрируются скорость и направление ветра. Максимальный набор включает солнечную радиацию, электропроводность воздуха, инфракрасное излучение, температуру, влажность, давление воздуха, интенсивность турбулентности, характеристики осадков.

Лучшие системы контроля имеют программное обеспечение, позволяющее прогнозировать уровень загрязнений на различные сроки, что дает возможность организации предупредительных мероприятий. Системы, не имеющие моделей прогноза, оснащены пороговой сигнализацией, которая срабатывает при достижении уровня загрязнений воздуха выше установленного предела.

Важно подчеркнуть, что при создании систем оперативного контроля воздуха за рубежом не ставится задача измерения всего возможного набора выбрасываемых в данном районе ингредиентов. Зачастую наличие хороших корреляционных связей между концентрациями веществ-индикаторов и прочих примесей позволяет с достаточной надежностью оценивать специфические загрязнения по результатам мониторинга индикаторов.

2. Основные требования к системе оперативного контроля

Одной из основных проблем при построении системы оперативного контроля является их оптимизация: получение максимума полезной (необходимой) информации при минимальных затратах. Как правило, оптимальность созданной системы определяется рациональным размещением сети периферийных пунктов, их количеством, правильностью выбора места установки самого пункта, набором контролируемых параметров, программой и сроками наблюдений [26]. Естественно, что значимость каждого из перечисленных признаков для эффективности работы системы будет различной.

Наиболее важным, а точнее определяющим, является принцип, по которому строится система контроля. Согласно [27] все известные системы оперативного контроля по принципу (концепции) построения можно разделить на два типа. К первому относятся те из них, которые позволяют (по полученным на сети пунктов данным) воспроизвести поле концентраций, максимально приближенное к реальному; системы, базирующиеся на таких сетях стационарных пунктов, называются пространственно репрезентативными. Ко второму типу относятся системы, <ориентированные на источники>, т.е. позволяющие оценить вклад отдельных источников в общее поле загрязнений атмосферы.

После выбора концепции построения системы вторым важным моментом является определение наиболее рационального шага сети наземных пунктов и их количества. Достаточно подробный обзор существующих подходов изложен в [28]. Соглашаясь в целом с идеей Э.Ю. Безуглой об оптимальности расчета плотности сети по корреляционным (структурным) функциям распределения загрязнений, заметим, что прямое применение такого подхода в пределах города чревато большими ошибками из-за влияния локальных факторов.

Остальные из перечисленных факторов, на наш взгляд, не являются определяющими и вполне могут задаваться в соответствии с имеющимися в настоящее время требованиями и правилами [26, 28, 29].

3. Система оперативного контроля ИОА СО РАН

Исходя из накопленного опыта учета потребностей практики, в ИОА СО РАН выработаны свои принципы и подходы к созданию системы оперативного контроля качества воздуха. Ниже излагаются некоторые аспекты построения этой системы.

3.1 Концепция построения системы

Основные положения концепции следующие:
система контроля должна сочетать в себе эффективность пространственно-репрезентативной сети и сети, <ориентированной на источники>;
система должна быть максимально автоматизированной;
должна иметь элементы для контроля продуктов фотохимических реакций;
при выборе измеряемых параметров должны максимально учитываться корреляционные связи;
система должна строиться по централизованному принципу и быть открытой для подключения других подсистем;

в системе контроля должна быть модель предупреждения или прогноза.

Разрабатываемая система оперативного контроля отличается от всех известных тем, что объединяет оба принципа построения подобных систем: пространственно-репрезентативный и <ориентированный на источники>. Это достигается введением в структуру системы лазерных локаторов (лидаров) [30]. Следует отметить, что попытка введения лидаров в систему мониторинга не нова. Так, например, в [31] описана автоматизированная система, которая прошла испытания в 1987 г., в г. Сенди и используется для контроля взвешенных веществ в северо-восточных районах Японии, где их концентрация сильно возрастает зимой. Однако в связи с тем, что в отечественном приборостроении пока не выпускаются метеорологически аттестованные лидары (исключение составляет трассовый лидар <Электроника-02> НИИ <Зенит>), в описываемой системе лазерные локаторы предполагается использовать в индикаторном режиме.

При таком подходе функцию <ориентирования на источники> выполняют лидарные комплексы, а сеть наземных пунктов должна строиться по принципу пространственно-репрезентативной. Соединение обоих принципов в единой системе позволяет по данным сети наземных пунктов составить объективную картину распределения загрязнений в контролируемой зоне, а по результатам лидарного зондирования выявить основные источники выбросов загрязнений, оценить интенсивность и состав выбросов, отследить пути их распространения, получить карту распределения загрязнений в воздушном бассейне. Многочисленные примеры реализации указанных возможностей лидаров приведены в [30, 32, 33, 42].

В качестве лазерных локаторов-индикаторов целесообразно использовать отлаженные и наиболее надежные аэрозольные лидары типа <ЛЮЗА> [33]. Это оправдано по следующим причинам. Во-первых, измеряемые ими коэффициенты общего рассеяния прямо пропорциональны массовой концентрации взвешенных веществ. Во-вторых, газовые примеси в результате физико-химических преобразований в итоге также превращаются в частички аэрозоля. В-третьих, как правило, газовые выбросы сопровождаются аэрозольными. И в-четвертых, аэрозоль является хорошим трассером атмосферных движений, что позволяет дистанционно оценить скорость переноса загрязнений. Выполненные ранее исследования показывают, что для городов с населением 500 – 600 тыс человек необходимо 3 – 4 лидара с потенциалом по дальности 5 км для восстановления поля загрязнений над всей его территорией. Размещаться они должны на возвышенных местах или крышах высотных зданий так, чтобы радиусами их дей-

ствия полностью охватывалась вся площадь города и шлейфы оптически плотных выбросов не создавали теневые зоны.

Дополнением к лидарным измерениям по восстановлению поля загрязнений над городом может быть телемониторный режим, применяющийся в некоторых системах контроля [34]. В ИОА СО РАН создается подобное устройство – широкоформатный фотометр <все небо>. Однако у этого средства есть один существенный недостаток (не считая трудностей методического характера), этот прибор применяется пока только в дневное время. Учитывая, что основной элемент лидара – лазерный передатчик – имеет относительно небольшой ресурс работы (с точки зрения постоянного режима эксплуатации), в дальнейшем, видимо, целесообразно объединить широкоформатный фотометр и лидары в общий комплекс для увеличения срока функционирования лидаров.

При расчете сети наземных постов для системы оперативного контроля ИОА СО РАН использовался следующий подход, опирающийся на идею Э.Ю. Безуглой о коррелированности поля загрязнений внутри города [28]. При этом учитывалось, что такой подход дает избыточное количество пунктов контроля [35]. Это чревато, во-первых, большим объемом малоэффективной информации, во-вторых, существенным удорожанием системы в целом. Кроме того, постановка модели прогноза в систему требует приближения структуры сети пунктов к прямоугольному построению [36]. Необходимо также исключить действие локальных факторов, для чего на практике обычно используется принцип осреднения исходных данных, позволяющий отфильтровать турбулентные флуктуации [37].

Исходя из изложенного, считаем более оптимальным расчет автокорреляционных функций по данным самолетного зондирования, проведенного над городом на высотах 100–200 м. Технология получения данных и методика расчета изложена в [38]. Правомерность переноса результатов с высоты 100 м в приземный слой основывается на ранее полученных данных, что масштабы распределения неоднородностей загрязнения уменьшаются с ростом высоты [39]. Следовательно, определенный по корреляционной функции шаг сетки при опускании вниз не будет завышен.

Проведенные эксперименты над рядом городов России показали, что если шаг сети определять по уровню 0,5 значения корреляционной функции, то он может изменяться от 0,4 над загрязненными районами города до 0,5 км над районами, где отсутствуют организованные выбросы. В качестве подтверждения приведем рис. 1, на котором показаны масштабы изменений автокорреляционных функций R_{xx} , рассчитанных для разных маршрутов над г. Нижний Тагил.

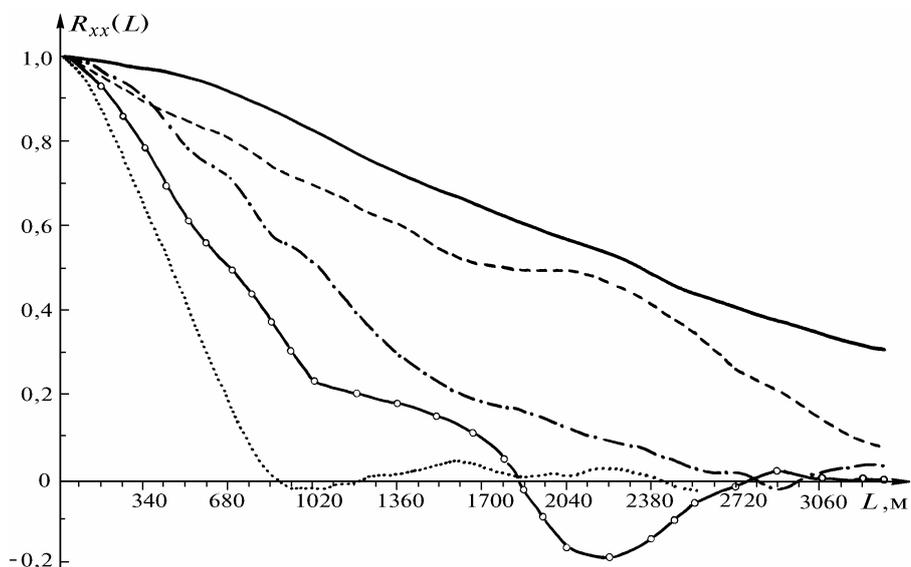


Рис. 1. Пространственные корреляционные функции R_{xx} взвешенных веществ над Нижним Тагилом (L – расстояние, пролетаемое самолетом)

Однако сеть, созданная с таким шагом, будет все еще избыточной. Поэтому на втором этапе отбрасываются пункты, которые не попадают в узлы шлейфов от разных предприятий, расположенных на территории города, при различных направлениях ветра. В результате этих процедур получается сеть с переменным шагом в разных районах города: более густая, где имеются очаги выбросов, и значительно реже, где они отсутствуют. Вместе с тем сеть пунктов сохраняет геометрические контуры, что облегчает постановку модели прогноза в данную систему.

Известно [28], что метеорологический потенциал загрязнений воздуха во многом определяется стратификацией температуры и ветра по вертикали. Эти же характеристики важны и для прогноза уровня загрязнений по большинству из имеющихся моделей. Поэтому в состав системы необходимо ввести устройство, которое измеряло бы указанные характеристики. Таким устройством может быть акустический локатор (сонар) или высотная метеорологическая мачта [3, 40, 41].

Как уже отмечалось, в состав большинства систем оперативного контроля воздуха входит обычно мобильная станция, оснащенная аналитической аппаратурой, которая предназначена для проведения маршрутных, подфакельных измерений, обследования отдельных микрорайонов города и т.п. Последние разработки ИОА СО РАН дают возможность создать еще один тип станции на базе аэрозольного или СКР-лидара, которая позволит дистанционно определять состав и объем выбросов на срезе высоких труб, осуществлять картирование поля загрязняющих веществ.

Таким образом, введение дистанционных средств в состав системы оперативного контроля существенно расширяет ее возможности и придает ей качественно новый уровень.

3.2. Структура и состав системы оперативного контроля <Город>

Описываемая ниже автоматизированная система оперативного контроля воздушного бассейна предназначена для определения уровня загрязнения в приземном слое воздуха; измерения объема и количества выбросов от источников, расположенных на контролируемой территории; выявления следов распространения примесей над городом; обследования одиночных и распределенных источников выбросов; наблюдения за ходом фотохимических процессов и, наконец, сбора, обработки, хранения и передачи информации.

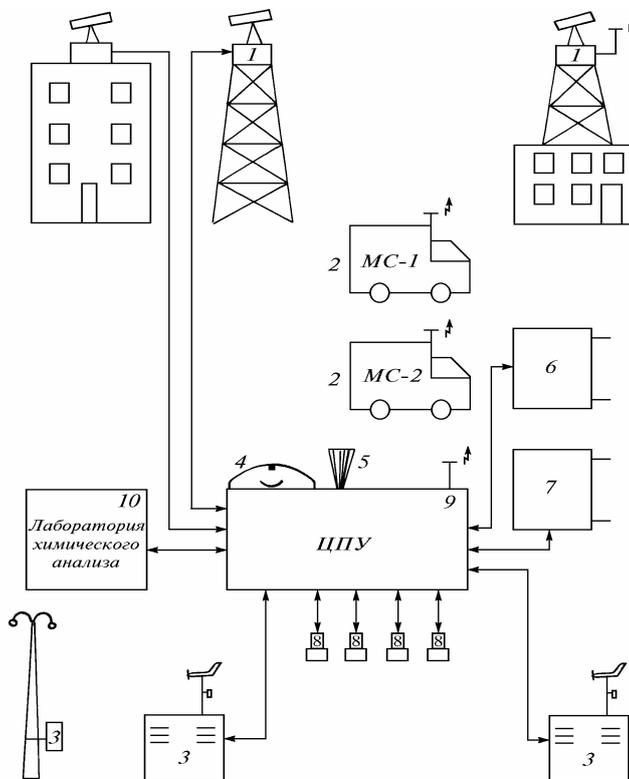


Рис. 2. Общая схема системы контроля воздушного бассейна

Система собирается по централизованному принципу и состоит из следующих компонентов (рис. 2): центрального пункта управления (ЦПУ) 9, на котором монтируются панорамный фотометр 4, содар 5, приемная антенна радиоканала; нескольких лидаров 1; мобильных станций МС-1 и МС-2 2; пунктов наземного контроля 3.

Система имеет открытый характер. К ней могут подключаться подсистемы промышленных датчиков 6, контроля водоснабжения 7 и т.д.

В связи с тем что ряд операций не только в отечественной, но и в зарубежной практике до сих пор не поддается автоматизации, например, определение химического состава взвешенных веществ, в состав системы оперативного контроля должна входить аналитическая лаборатория 10.

Потребители информации 8 подключаются к ЦПУ через линии связи.

Центральный пункт предназначен для управления всей системой контроля, сбора, обработки, накопления и долговременного хранения информации, выдачи предупреждений и прогнозов, обслуживания потребителей оперативной и климатической информацией, подготовки материалов для предъявления штрафных санкций. Его сердцевину составляют две ЭВМ, одна из которых работает в оперативном режиме. Вторая ведет обработку климатической информации и одновременно является <горячим> резервом для первой управляющей. В состав ЦПУ входят следующие средства отображения информации: табло, дисплеи, цифро-печатающие устройства, графопостроители и т.п. Он имеет узел связи с периферийными станциями и потребителями, устройства обмена информацией по радиоканалу, накопители информации для долговременного хранения.

Лидарные комплексы 1 располагаются на крышах высотных зданий или на башнях. При этом аппаратура управления, регистрации и обработки данных зондирования находится в помещении, а приемопередатчик лидара может быть удален от него на расстояние до 500 м.

Количество лидаров зависит от размеров контролируемой площади, уровня загрязнения воздуха, расположения организованных источников выбросов, розы ветров и ряда других факторов. Основные тактико-технические показатели аэрозольного лидара среднего радиуса действия приведены в таблице.

Показатели	Размерность	Численное значение
Дальность и направление зондирования:		
дальность зондирования дымовых шлейфов	км	5-7
угол места	град	-10÷90
азимут	град	0÷340
угловое разрешение	угл.мин	10
пространственное разрешение	м	7,5; 15
скорость обзора	град/с	≤ 1 (переменная)
Система управления, регистрации, обработки и передачи информации	-	На базе IBM PC/AT

Выше уже упоминалось, что в системе используются мобильные станции двух типов (поз. 2 на рис. 2). Первый тип станции, оснащенный только аналитической аппаратурой, традиционный и хорошо известен в литературе [43,44]. Поэтому останавливаться на его описании не будем. Уделим внимание станциям, имеющим в своем составе лидары, в частности СКР-лидар. Такая станция позволяет измерять концентрацию газов и взвешенных веществ на срезах труб предприятий и имеет следующие технические характеристики:

дальность действия	500 м
концентрация взвешенных веществ	≥ 1 мг/ м ³
концентрация CO, NO, NO ₂ , SO ₂	≥ 100 ppm
температура газа	≥ 100 К
скорость истечения струи	≥ 1 м/с

Наземные пункты контроля представляют собой контейнеры с приборами, системами микроклимата, метрологии и энергопитания. Они устанавливаются стационарно в заранее выбранных местах. Набор измеряемых параметров может изменяться в зависимости от состава выбросов в каждом городе. По данным обследования в г. Хабаровске, для него, например, установлен такой состав измеряемых величин:

NO	0,2÷100 ppm	CH ₄	1÷200
NO ₂	0,02÷100	O ₃	0,5÷500 ppm
SO ₂	0,1÷50	взвешенные гравиметрические	
NH ₃	0,2÷40	вещества.....	метод
H ₂ S	0,005÷10	температура	-50÷+50°C
H ₂ CO	0,5÷10	влажность	10÷100%
CO ₂	2÷2000	скорость ветра	1÷40 м/с
CO	1 ÷1000	направление ветра ...	0÷360

В зависимости от площади города, уровня загрязнения, на его территории необходима установка от 10 до 30 пунктов наземного контроля.

3.3. Алгоритм работы системы

При нормальных условиях в дежурном режиме находятся только наземные пункты контроля, которые собирают информацию об уровне загрязнения в микрорайонах города. Лидарные комплексы производят периодический осмотр территории города и контроль основных источников выбросов. С помощью широкоформатного фотометра дежурный оператор ведет визуальный контроль состояния воздушного бассейна. Мобильные станции проводят плановые обследования или маршрутные измерения. Сodar дает сведения о вертикальной стратификации атмосферы. Поступившая информация обрабатывается в ЦПУ и составляется прогноз будущей обстановки.

При появлении сведений о превышении ПДК, предельно-допустимых выбросов (ПДВ) или прогноза неблагоприятных метеоусловий мобильные станции переключаются на обследование микрорайона, в котором зафиксировано ПДК, или предприятия, превысившего ПДВ. Наземные посты, лидарные комплексы и содар переходят в учащенный режим наблюдений.

4. Программа создания системы оперативного контроля <Город>

Опыт зарубежных стран показывает, что автоматизированные системы оперативного контроля воздуха не создаются на пустом месте. Их разработке предшествует достаточно большой объем работы. Причем их стоимость за рубежом зачастую превышает стоимость всей будущей системы контроля [45].

Обычно подготовительный этап начинается с обследования территории и инвентаризации источников выбросов. Обследование проводится для того, чтобы определить фактический уровень загрязнения, эффект сложения выбросов от разных источников, выявить закономерности распространения примесей над районом, особенности прохождения метеорологических процессов и их влияния на потенциал загрязнения [46].

Инвентаризация источников заключается в определении состава и объема выбросов, концентрации различных их компонентов, измерений физических величин выброса (температуры, скорости и т.д.), в установлении констант источника (диаметр, высота, местоположение и т. д.) [47]. Для проведения инвентаризации чаще всего используются аналитические методы, основанные на отборе проб воздуха с последующим анализом в лаборатории. Хотя более эффективным является применение инструментальных методов с доставкой приборов в заданную точку пространства (самолет, вертолет, мобильная станция).

Классическими примерами подготовительных работ можно считать программу регионального исследования загрязнения атмосферы в Северной Америке, проведенную Агентством по охране окружающей среды США и Министерством охраны атмосферного воздуха Канады [9]. Эти организации в 70-х годах осуществляли крупную программу RAPS, которая выполнялась в несколько этапов. Основная часть программы заключалась в проведении непрерывных наблюдений в приземном слое атмосферы в 25 пунктах, а также в свободной атмосфере, в которой измерения осуществлялись с помощью радиозондов, аэростатов, самолетов, вертолетов. Ежегодно по плану полевых исследований программы RAPS проводились 2–3 экспедиции продолжительностью 4–5 недель. Аналогичные исследования выполнялись в 1983 году

во Франции, в регионе Фос-де-Бер, где планировалось создание системы оперативного контроля [48]. В бывшем СССР можно отметить комплексный эксперимент на Запорожской ГРЭС, при доработке первой системы автоматизированного контроля загазованного воздуха в зоне ТЭС [41].

Одним из важнейших моментов при обследовании регионов является проведение ветровой съемки [49], которая во многом определит дальнейшее расположение постов контроля.

Согласно [50] при проведении предварительного обследования должны выполняться следующие условия, вытекающие из метрологических требований:

согласованность методов измерения загрязнения атмосферы и выбросов;

единство методов обработки информации для расчета пространственно-временных характеристик полей загрязнений и метеовеличин;

одновременность и единство методов отбора проб для контроля загрязнения атмосферы на всех стационарных, маршрутных и передвижных постах;

синхронность измерений в приземном слое, выполняемых в рамках мониторинга загрязнения атмосферы, и измерений вертикального распределения примесей и метеовеличин;

обеспечение единого подхода при разработке методов интерпретации данных локальных и дистанционных измерений.

Исходя из изложенного, ИОА СО РАН на первом этапе реализации программы также начинает работу с обследования территории, для которой предполагается создание системы оперативного контроля [51]. Оно осуществляется с помощью наземных мобильных комплексов [33, 52] и самолета-лаборатории [53], оснащенных дистанционными и контактными средствами. Причем набор измеряемых параметров, методики и приборы на них почти идентичны.

На основании полученных данных с привлечением дополнительной информации разрабатывается аван-проект системы оперативного контроля конкретного города. После защиты и утверждения аван-проекта системы в директивных органах территории начинается второй этап. Он включает в себя разработку проекта системы, начиная со структурной схемы, выбора и обоснования приборного парка, схемы связи, модели (диагностической или прогностической).

На третьем этапе производится монтаж системы, верификация измеряемых параметров, адаптация модели к местным условиям.

Четвертый этап заключается в запуске системы в эксплуатацию, передаче эталонов между элементами системы, что осуществляется с помощью самолета-лаборатории.

В заключение отметим, что многое из изложенного было проверено нами на практике при выполнении работ в Павлодаре, Усть-Каменогорске, Хабаровске, Комсомольске-на-Амуре, Нижнем Тагиле, Нижневартовске и др. В стадии изготовления находится система оперативного контроля для Хабаровска. Разрабатывается рабочий проект системы для Нижнего Тагила, ведутся подготовительные работы по Нижневартовску.

Приведенное здесь описание системы контроля, разумеется, не является окончательным. Перспективным будет применение средств дистанционного пробоотбора, устанавливаемых на малоразмерных дистанционно пилотируемых летательных аппаратах, пассивных корреляционных газоанализаторов [51] и другого оборудования, позволяющего расширить функциональные возможности и повысить надежность системы контроля воздушного бассейна.

1. Маклярский Б. М. Экологический бумеранг: классовые аспекты охраны окружающей среды. М.: Мысль, 1980. 229 с.
2. Sherlock J. M. //Experimentia. 1984. V. 40. №2. P. 152–156.
3. Taguti M. //Kagaxy Kagaxu. 1982. V. 52. №3. P. 168–176.
4. Viswasy K. The Ozone Layer. New-York: Pergamon Press. 1979. 382 p.
5. Израэль Ю. А., Манн Р. Е. //Труды Международного симпозиума <Проблемы экологического устойчивого развития биосферы>. 1988. С. 6–24.
6. Дарда Л. В. Конъюнктура рынка и характеристика ассортимента химических реактивов и высококачественных веществ за рубежом. М.: НИИТЭИХП, 1983. 76 с.
7. Korte F., Klein W., Schennert J. //Indo-German Seminar Agriculture. Berlin, 1977. S. 7–38.
8. Просянкина Н. З. //Автоматизация сбора и обработки гидрометеорологической информации. 1989. Вып. 1. С. 1–37.
9. Туманова Н. А. Автоматизированные системы контроля качества окружающей среды. М.: ВНИИЦ, 1989. 107 с.
10. Кимстач В. А., Фридман Ш. Д., Дмитриев Е. С. и др. // Метеорология и гидрология. 1992. №10. С. 5–18.
11. Tombach J. // Pollut. Urban Environ.: POLMET-85. Hong-Kong. 1985. P. 164–169.
12. Nesq P. // Pollut. Atmosph. 1989. V. 31. №12. P. 161–167.

13. Kaveya J., Nomuma Y. // *J. Environ. Pollut. Contr.*, 1983. V. 19. №12. P. 1152–1158.
14. Yasuda M. // *Канке Кэнкю*. 1983. №46. С. 36–41.
15. Aggazzoti G., Predieri G. // *Waters Res.* 1986. V. 20. №8. P. 959–963.
16. Mantovani G., Geruzzi G. // *Chem. Age India*. 1986. V. 37. №10. P. 719–723.
17. Faugere J. G., Dufoir J., Dourthe M. // *Pollut. Atmosph.* 1980. V. 32. №87. P. 327–334.
18. Nadal M. // *Rev. gen. secur.* 1987. №66. P. 62–64.
19. Stezel W. // *Umwelt*. 1977. №1. S. 32–36.
20. Eder E., Heise C., Kellner K. // *Umwelt*. 1979. №2. S. 102–107.
21. Blass B. // *Umwelt*. 1980. №3. S. 339–344.
22. Примак А. В. // *Автоматизация контроля загрязнения окружающей среды*. М.: Наука, 1985. С. 14–21.
23. Цатуров Ю. С., Красов В. И. // *Методы и средства контроля промышленных выбросов и загрязнения атмосферы и их применение*. М.: Гидрометеоздат, 1988. С. 21–40.
24. Красов В. И., Ясенский А. Н. // Там же. С. 66–70.
25. Щербань А. Н., Примак А. В., Покаржевский А. С. // Там же. С. 40–46.
26. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186–89. М.: Гидрометеоздат, 1991. 693 с.
27. Ясенский А. Н., Боброва В. К., Зив А. Д., Красов В. И. // *Труды ГГО*. 1987. Вып. 492. С. 13–23.
28. Безуглая Э. Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 200 с.
29. Бронштейн Д. Л., Александров Н. Н. *Современные средства измерения загрязнения атмосферы*. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 328 с.
30. Зуев В. Е., Зуев В. В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1992. 232 с.
31. Asai K. et al. // *Sci. Eng.* 1988. №8. P. 221–232.
32. Зуев В. Е., Кауль Б. В., Самохвалов И. В. и др. // *Лазерное зондирование промышленных аэрозолей*. Новосибирск: Наука, 1986. 188 с.
33. Балин Ю. С., Разенков И. А. // *Оптика атмосферы и океана*. 1993. Т. 6. №2. С. 169–188.
34. NASA – inverted pollution detected to be marketed. // *Space World*. 1979. 10 p.
35. Sabaton C. // *Bull. dur e' tud el rech.* 1976. A4. P. 1–136.
36. Liu E. A. // *Environ. Monitor. and Assessm.* 1989. V. 6. №1. P. 1–11.
37. Хромов С. П. *Основы синоптической метеорологии*. Л.: Гидрометеоздат, 1948. 700 с.
38. Белан Б. Д. // *Оптика атмосферы и океана*. 1993. Т. 6. №2. С. 205–222.
39. Белан Б. Д., Гришин А. И., Матвиенко Г. Г., Самохвалов И. В. *Пространственная изменчивость характеристик атмосферного аэрозоля*. Новосибирск: Наука, 1989. 152 с.
40. Гладких В. А., Карпов В. И., Красненко Н. П. и др. // *Оптика атмосферы и океана*. 1992. Т. 5. №7. С. 751–756.
41. Волков Э. П. *Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС*. М.: Энергоатомиздат, 1986. 256 с.
42. Аршинов Ю. Ф., Бобровников С. М., Шумский В. К. и др. // *Оптика атмосферы и океана*. 1992. Т. 5. №7. С. 751–756.
43. Куксинский В. В., Миляев В. Б. // *Труды ГГО*. 1987. Вып. 492. С. 122–127.
44. Бейрдон Ф. // *Cew. Chem. Eng. World*. 1989. V. 24. №9. P. 51–53.
45. *Защита атмосферы от промышленных загрязнений*. / Под ред. С. Калверта, Г. М. Инглунда. М.: *Металлургия*, 1988. Ч. 1. 760 с. Ч. 2. 712 с.
46. Musckett F. D. // *Ann. Amer. Assos. Geogr.* 1981. V. 71. №4. P. 552–565.
47. Рейгардт И. А. // *Подготовка и переработка нефти и газов Западной Сибири и Прикаспийской впадины*. М.: *Химия*, 1989. С. 94–99.
48. Despres A., Rancillac F. // *Pollut. Atmosph.* 1987. №7–9. P. 226–236.
49. Шаприцкий В. Н. *Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы*. М.: *Металлургия*, 1990. 416 с.
50. Горелик О. Д. // *Методы и средства контроля промышленных выбросов и загрязнения атмосферы и их применение*. М.: Гидрометеоздат, 1988. С. 84–91.
51. Зуев В. Е., Кабанов М. В., Белан Б. Д., Панченко М. В. // *Тезисы докладов Международной конференции <Экология: стандарты, нормы и правила>*. Минск, 1992. С. 23–24.
52. Белан Б. Д., Панченко М. В., Солдаткин Н. П. // *Экология воздушного бассейна*. 1-я Школа-семинар. Пос. Кольцово. Новосибирской обл. 1991. С. 17–20.
53. Зуев В. Е., Белан Б. Д., Кабанов Д. М. и др. // *Оптика атмосферы и океана*. 1992. Т. 5. №10. С. 1012–1021.
54. Артемов В. М., Николаев Н. А., Фридман Ш. Д. // *Оптика атмосферы и океана*. 1993. Т. 6. №2. С. 130–144.

Институт оптики
атмосферы СО РАН, Томск

Поступила в редакцию
15 ноября 1993 г.

Yu. S. Balin, B. D. Belan, A. I. Nadeev, M. V. Panchenko. **<GOROD> – a System for Operative Control of Air Pollution in the Atmosphere over Industrial Centers.**

This paper presents the concept and structure of a system for operative control of air quality over industrial centers, that is being under development at the Institute of Atmospheric Optics of SB of the RAS. This system unites two basic principles of such systems design, namely, the principle of spatial representativity and the principle of account for the sources of atmospheric emissions. The combination of these principles is reached by using in the system of scanning aerosol and Raman lidars. Specifications and functioning of the system are described in the paper.