

УДК 535.8

Б.Н. Дмитриев, И.А. Суторихин

Применение статистических методов обработки сигналов к анализу цифровых видеозображений аэрозольных шлейфов

Введение

Для оценки мощности (производительности) аэрозольных выбросов в атмосферу локальных стационарных источников используются контактные и оптические дистанционные методы. Оптические системы, применяемые для дистанционных измерений, подразделяются на активные, использующие искусственную подсветку, и пассивные, регистрирующие рассеянное солнечное или тепловое излучение исследуемого объекта. Первоначально в качестве излучателей в активных системах наблюдения применялись прожекторы. В настоящее время широко распространены лидарные системы.

Общим для пассивных методов является то, что в них тем или иным способом измеряется яркостный контраст объекта. В методе Рингельмана [1, с. 397–412] визуально с помощью специальных шаблонов оценивается яркость аэрозольного шлейфа на контрастном фоне. Возможна оценка яркости аэрозольного шлейфа с помощью телефотометров. Теоретический анализ показывает, что метод измерения яркостного контраста позволяет определить оптическую плотность аэрозольного шлейфа [2, с. 1289–1297]. Та же величина измеряется и при фотографировании аэрозольной струи.

Наблюдения, проводимые с использованием телевизионных систем, могут осуществляться с помощью аналоговых и цифровых технических средств. С помощью аналоговых технических средств по регистрируемой величине интенсивности рассеянного излучения можно получить величину мощности выброса локального источника, например, путем измерения амплитуды видеосигнала.

В рассматриваемом методе телевизионная регистрация процесса распространения аэрозольного шлейфа сочетается с последующей цифровой обработкой и анализом видеоинформации. Статистический анализ регистрируемых динамических изображений, прошедших предварительную обработку, проводится с целью определения величин яркостного контраста аэрозольных шлейфов. Мощность аэрозольного источника M можно определить как число частиц N , переносимых через плоскость zx , перпендикулярную направлению переноса частиц за единицу времени. Мощность выброса связана с концентрацией следующим соотношением [3, с. 99–100]:

$$M = V_y \iiint dz dx \rho(z, x, y, t), \quad (1)$$

где V_y – составляющая скорости переноса частиц вдоль направления распространения аэрозольного шлейфа; (z, x, y, t) – концентрация частиц. Распределение концентрации вместе с оптическими свойствами частиц и освещенностью связано с распределением интенсивности света I , рассеянного на аэрозольном шлейфе. В случае, когда освещенность объекта и параметры частиц фиксированы, интенсивность рассеянного света прямо пропорциональна мощности аэрозольного источника:

$$\iiint I(x, y, z, t) dz dx \sim M. \quad (2)$$

Статистический подход используется при рассмотрении динамики распространения аэрозольного шлейфа и последующей цифровой обработке видеозображений с целью уменьшения влияния случайной и систематической погрешностей косвенных измерений, а также построения модели поля яркостного контраста на основе расчета изображений объекта в рассеивающей среде. Как показывают результаты ранее проведенных экспериментальных работ, зависимость распределения уровней градаций серого модельного объекта, в направлениях, перпендикулярных распространению аэрозольного шлейфа, от мощности источника носит линейный характер. Случайная ошибка экспериментов составляет 15–20% [4, с. 155–156].

Классификация геоизображений

Согласно определению, данному А.М. Берлянттом [5], геоизображение – это любая пространственно-временная, масштабированная, генерализованная модель земных (планетарных) объектов или процессов, представленная в графической образной форме. Главной сущностью генерализации является передача основных типичных черт объектов, их характерных особенностей и взаимосвязей соответственно масштабу и назначению геоизображений. Существует большое число разнообразнейших видов геоизображений, к числу которых относятся картографические, фото-, телеизображения, сканерные и локационные геоизображения, машинографические (карты, снимки, конструируемые с помощью автоматических

графопостроителей). Таким образом, цифровые видеоизображения процессов распространения аэрозоля в атмосфере относятся к геоизображениям.

В связи с тем, что имеется большое разнообразие геоизображений, возникает вопрос их классификации. Б.Н. Родионов [6] – один из создателей единой теории изображений применительно ко всем аэрокосмическим снимкам различал три дисциплины:

1) иконнику – науку о фотографических, телефизионных, фототелевизионных, тепловизорных, радиолокационных, акустических и других изображениях;

2) иконологию – комплекс методов и средств обработки и использования информации, содержащейся в изображениях;

3) иконометрию – совокупность методов и практических приемов измерения изображений и их геометрической и энергетической интерпретации.

В иконометрию включались два раздела: иконогеометрия, охватывающая измерения геометрических параметров и геометрическую интерпретацию изображений, и иконоактинометрия – определение лучистости и энергетическая интерпретация изображений.

В статье А.М. Берлянта приводится классификация геоизображений в соответствии метрики самих геоизображений [7, с. 37–43]. При этом из геоиконики выделяется геоикониметрия – система дисциплин, изучающих общую теорию, методы и средства измерений по геоизображениям. В соответствии с выбранным критерием автор статьи подразделяет геоикониметрию на:

1) геопланиметрию – измерения по 2-мерным изображениям;

2) геостереометрию – измерения по 3-мерным стереоизображениям;

3) геохронометрию (измерения по 3- и 4-мерным (динамическим) изображениям).

Применение динамических изображений для регистрации процессов распространения аэрозоля в атмосфере

Под динамическим изображением понимается временная последовательность двумерных или трехмерных изображений $F(x, y, t)$ или $F(x, y, z, t)$, отражающая динамику какого-либо процесса [8, с. 78–105]. При этом предполагается, что последовательные кадры регистрируются через интервалы времени, дифференциально малые по сравнению с характерной постоянной времени динамической системы. Это означает, что последовательные кадры в достаточной степени коррелированы во времени, что отличает динамические изображения от произвольного набора

кадров. Поэтому важный качественный признак динамических изображений заключается в том, что сигнал $F(x, y, t)$ является единым объектом. Значительный объем информации, содержащийся даже в небольших динамических изображениях (например, последовательность из 128 кадров размером 128×128 элементов при разрядности изображения 8 бит занимает 2 Мбайта памяти), а также «неприспособленность» зрительного аппарата человека к анализу изменяющихся распределенных полей яркости приводит к необходимости компьютерного анализа и обработке таких данных.

Процессы распространения аэрозольных шлейфов локальных источников происходят в турбулентной атмосфере и в силу этого являются случайными процессами. Поэтому для получения достоверных данных об источнике целесообразно применять статистические методы исследований. На наш взгляд, для исследования динамических процессов распространения аэрозольных шлейфов в атмосфере, с помощью теле- или видеокамер, наиболее целесообразно использовать динамические изображения, представляющие собой последовательные оцифрованные кадры телевизионных наблюдений.

К задачам предварительной обработки можно отнести: подавление импульсных шумов и шумов квантования, обусловленных аналогоцифровым преобразованием видеосигнала; изменение диапазона яркостей исходного изображения (в случае, если видеоматериал получен с помощью видео- или телекамер со встроенной функцией АРУ); подчеркивание (выделение) перепадов яркостей и границ нестационарных участков изображения.

Для подавления импульсных шумов и шумов квантования можно использовать стандартные методы, описанные в книге Л.П. Ярославского [9].

Другой аспект проблемы обработки изображений заключается в том, что многие аналоговые видеокамеры зарубежного производства имеют встроенную функцию АРУ (автоматическую регулировку усиления), благодаря которой происходит автоматическая подстройка яркости видеоизображения под объект съемки. Кроме того, необходимо учитывать то обстоятельство, что в процессе съемки происходит и изменение освещения объекта с течением времени. В этом случае возникает необходимость коррекции и нормализации регистрируемых видеоизображений, приведения их к одинаковым условиям съемки. Частично эта задача может быть решена с помощью использования эталонных объектов (например, тест-объектов типа ТОН). На рисунке 1 приведены фрагменты видеозаписи стендового эксперимента по моделированию процесса распространения аэрозольного шлейфа [3, с. 99], полученные с помощью бытовой видеокамеры PANASONIC-7M

(размер кадра 640×512 точек). Как видно, кадры из видеопоследовательности, которые соответствуют разным значениям производительности источника, отличаются друг от друга общей яркостью изображения.

Коррекция яркости изображения осуществляется по объектам, находящимся на изображении. Выделение распространяющегося аэрозольного факела внутри выделенного контура (размером 540×340 точек) производится по пороговому значению яркости однородного фона.

Статистический анализ цифровых изображений аэрозольных шлейфов

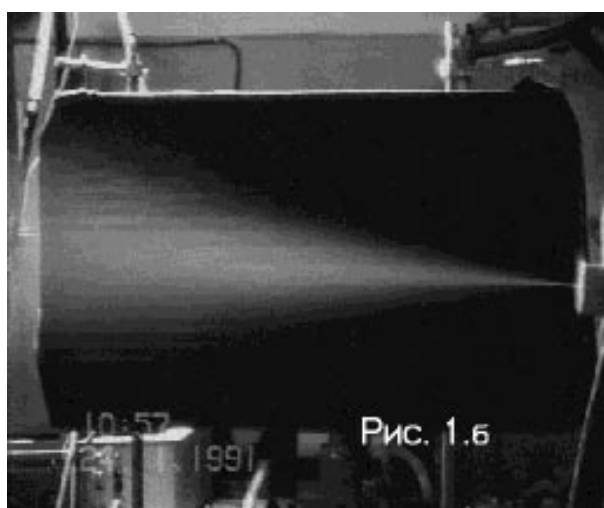
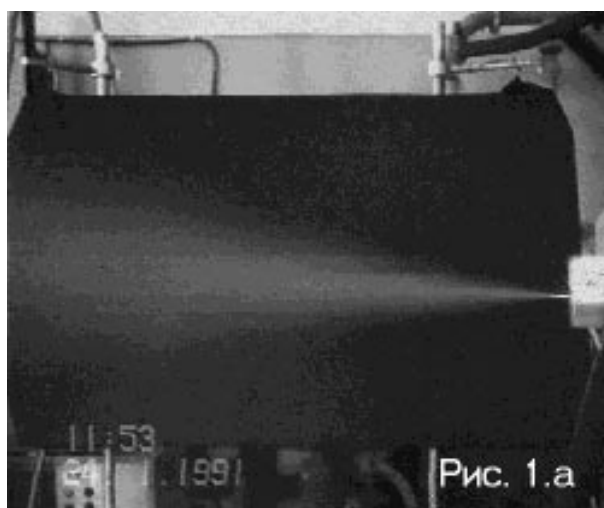


Рис. 1. Кадры с разной производительностью источника (производительность $M=25$ мл/мин рис. 1а и $M=95$ мл/мин рис. 1б)

Нахождение эмпирической зависимости интенсивности рассеянного света от мощности аэрозольного источника согласно формуле (2) заключается

$$\text{в поиске зависимости: } \sum_i C_{ij} \sim M, \quad (3)$$

где C_{ij} – элементы цифрового изображения аэрозольного факела. Индекс j соответствует наиболее информативному участку факела. Так как направление визирования было выбрано перпендикулярно оси распространения шлейфа, то для его нахождения достаточно было построить

зависимость $\sum_i C_{ij}(j)$ и определить максимум этой функции.

Другим способом получения зависимости интенсивности рассеянного света от мощности является измерение средней яркости изображения аэрозольного шлейфа. На рисунке 2 представлена зависимость среднего значения яркости аэрозольного факела I от мощности источника.

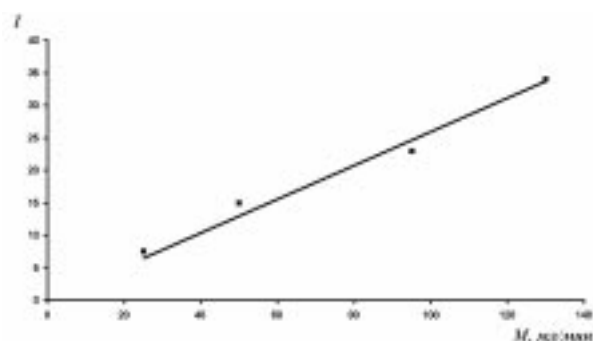


Рис. 2. Зависимость среднего значения яркости аэрозольного факела I от мощности источника M

На рисунке 3 (а-г) представлены изофоты изображений аэрозольных факелов модельного объекта, соответствующие значению мощности источника $M=25, 50, 95$ и 130 мл/мин соответственно.

Работа проводилась с помощью экспериментальной установки, созданной на базе персонального компьютера Pentium-166 mhz. Ввод видеoinформации с видеокамеры непосредственно в компьютер осуществляется с помощью видеокарты S3Virge MTV с TV-тюнером. Обработка и анализ изображений осуществлялись с помощью оригинального пакета программ.

Проведена предварительная обработка наблюдений аэрозольных шлейфов котельных про-

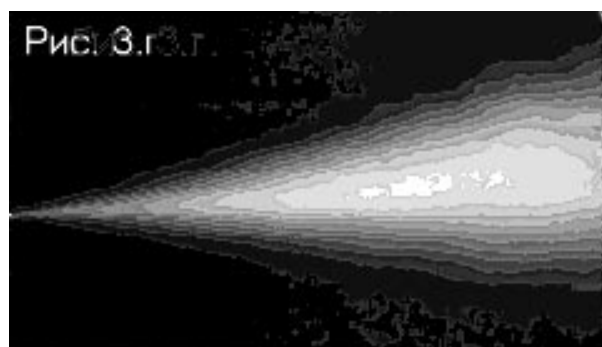
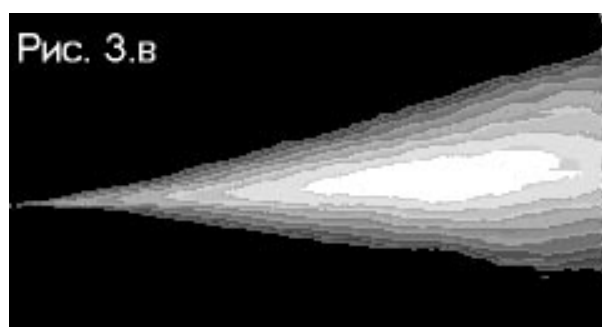
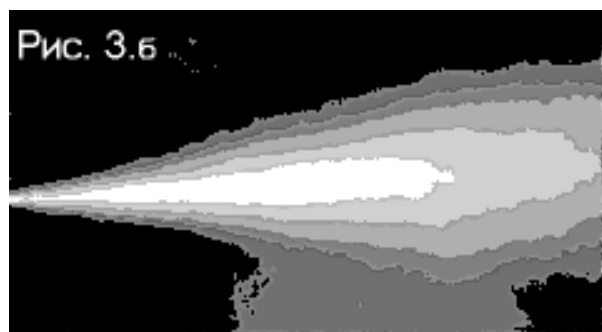
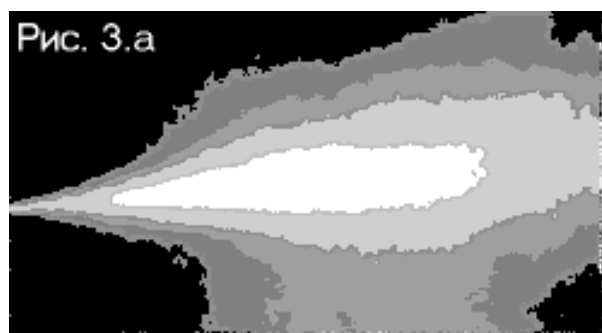


Рис. 3. Изофоты изображений аэрозольных факелов. Мощность источника $M = 25$ (а), 50 (б), 95 (в) и 130 (г) мл/мин

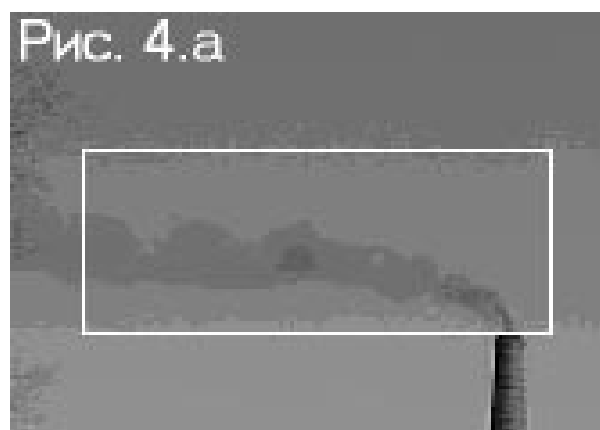
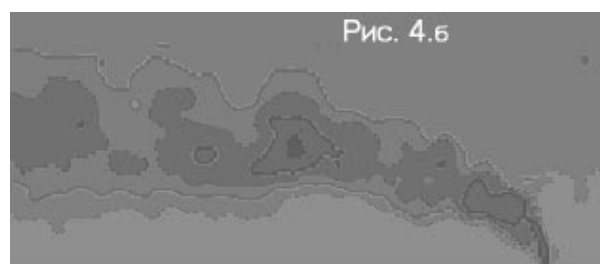


Рис. 4. а – труба котельной канифольно-терпентинного завода, б – изофоты изображения аэрозольного шлейфа

мышленных предприятий г. Барнаула (рис. 4а – труба котельной канифольно-терпентинного завода; рис. 4б – изофоты изображения аэрозольного шлейфа). На изображениях выделены зоны, соответствующие различным уровням концентрации.

Результаты обработки видеозаписи аэрозольного шлейфа по определению зависимости яркостного контраста видеоизображения от мощности (производительности) аэрозольного источника позволяют говорить о том, что применение статистической обработки с покадровым накоплением изображений и вариацией объема выборки кадров повышает точность восстановления абсолютной величины производительности аэрозольного источника на 10% по сравнению с ранее полученными [10].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности количественной оценки мощности аэрозольных выбросов стационарных источников с известными параметрами с помощью статистической обработки и анализа цифровых изображений аэрозольных шлейфов.

Литература

1. Берлянт А.М. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. М., 1975.
2. Банах В.А., Миронов В.Л., Суторихин И.А., Смалихо И.Н., Морский В.В. Статистические характеристики интенсивности рассеянного на аэрозольном шлейфе оптического излучения // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т.6.
3. Морский В.В., Суторихин И.А., Гаевой В.В., Куценогий К.П., Смалихо И.Н. Дистанционная оценка мощности аэрозольного факела по его видеоизображению // Вторая межреспубликанская конференция «Оптические методы исследования потоков»: Тез. докл. Новосибирск, 1993.
4. Дмитриев В.Н., Куценогий К.П., Морский В.В., Суторихин И.А. Телефотометрический метод контроля производительности источника // Международный симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды»: Тез. докл. Томск, 1998.
5. Берлянт А.М. Геоизображения и геоиконика. М., 1990.
6. Родионов Б.Н. Динамическая фотограмметрия. М., 1983.
7. Берлянт А.М. Графическая среда и геоиконметрия // География и природные ресурсы. 1994. №1.
8. Тараторкин А.И. Цифровая обработка динамических полей // Цифровая оптика: Обработка изображений и полей в экспериментальных исследованиях: Сб. науч. тр. М., 1990.
9. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. М., 1979.
10. Дмитриев В.Н., Суторихин И.А. Статистическая обработка цифровых изображений аэрозольных шлейфов // V Рабочая группа «Аэрозоли Сибири»: Тез. докл. Томск, 1998.