

А.И. Исакова, С.Т. Пенин, Л.К. Чистякова

## Программное обеспечение комплексного исследования техногенных аномалий в атмосфере

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 13.03.2006 г.

Описано программное обеспечение для аппаратного комплекса ДАН-2, разработанного для регистрации эмиссии и поглощения оптического и СВЧ-излучений аэрозольно-газовых выбросов в атмосфере. Решена задача автоматизации процессов записи, накопления и обработки экспериментальной информации.

В состав программного комплекса встроены следующие алгоритмы и методики для расчетов и оценок атмосферных аномалий:

- расчет концентрации газов в шлейфе промышленного выброса с учетом газоаэрозольного ослабления, азимута визирования прибора относительно источника и распределенной засветки дневного неба;
- численное моделирование формирования и распределения полей газоаэрозольных выбросов в атмосфере с использованием различных моделей;
- прогноз оптических фонов в атмосфере с учетом различных типов подстилающей поверхности и меняющихся атмосферных условий;
- алгоритм восстановления структуры шлейфа выброса по его изображению.

Применение модульного принципа позволило реализовать все подсистемы независимо друг от друга, при этом они могут работать как самостоятельно, так и в общем комплексе программ. Программное обеспечение имеет удобный графический интерфейс, отличается высокой скоростью математических вычислений и возможностью дальнейшего расширения и изменения алгоритмов вычислений.

### Введение

Взаимодействие атмосферы с поверхностью Земли, сопровождаемое естественными и техногенными факторами, приводит к образованию в атмосфере различных газовых аномалий (ореолов естественных и техногенных источников) [1]. Оптические свойства таких аномалий отличаются от свойств естественной атмосферы и могут быть использованы для обнаружения аэрозольно-газовых загрязнений. В ИОА СО РАН создан комплекс аппаратуры для регистрации эмиссии и поглощения оптического и СВЧ-излучений, в том числе возбуждаемых радиоактивными загрязнениями в атмосфере (ДАН-2). Комплекс предназначен для экспресс-контроля загрязнений воздушного бассейна и дистанционного обнаружения аэрозольно-газовых выбросов промышленных объектов, а также оценки радиоактивности в области шлейфа выбросов предприятий ядерного цикла и прогноза радиационной обстановки, расчета и прогноза оптических фонов. Схема макета ДАН-2 приведена на рис. 1 [2].

Комплекс ДАН-2 включает в себя следующие измерители:

- 1) корреляционный спектрометр ДАН-1 [3, 4] для измерения концентрации газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и т.д.;
- 2) СВЧ-спектрорадиометр, регистрирующий излучение на частоте 1420 МГц [5];
- 3) ТВ-систему для картирования области измерений и регистрации температурных аномалий [6].



Рис. 1. Схема макета ДАН-2 для регистрации эмиссии и поглощения оптического и СВЧ-излучений газовых аномалий в атмосфере

Измерения корреляционным спектрометром основаны на выделении полосы молекулярного поглощения газа на фоне перекрывающихся линий и полос других газов и учитывают эффект однократного светорассеяния на аэрозолях. Данная методика описана в [3, 7].

СВЧ-спектрорадиометр использует метод пассивной диагностики радиоактивности в атмосфере

по СВЧ-излучениям атомарного водорода в качестве индикатора радиоактивности в шлейфе выбросов, который рассмотрен нами в работе [8].

В данной статье описан разработанный авторами программный комплекс, предназначенный для регистрации и обработки информации, поступающей с аппаратного комплекса ДАН-2, который позволяет обрабатывать экспериментальные данные и изображения шлейфов техногенных источников, рассчитывать параметры атмосферных аномалий, оценивать оптические фоны в атмосфере и прогнозировать распространение примеси промышленного выброса.

Несмотря на то что в настоящее время существует большое число пакетов прикладных программ (ППП), используемых при решении экологических проблем, все они предназначены для решения узкоспециализированных задач и не могут быть использованы для ДАН-2. Эти пакеты можно условно разбить на следующие основные группы: программы, предназначенные для моделирования процессов распространения излучения в атмосфере; программы, определяющие основные параметры газовых составляющих атмосферы; программы, предназначенные для обработки изображений (например, LESSA, E-System, SAGDAM и др.).

Обработка экспериментальной информации, получаемой ДАН-2, представляет собой сложную задачу, обусловленную высокой скоростью получения данных, большими объемами экспериментальной информации, необходимостью проведения экспериментов в реальном масштабе времени. Кроме того, для автоматизации эксперимента необходимо знать технологию его проведения, учитывать специфические особенности данного вида информационных потоков и их обработки. Одновременно должны быть учтены требования к качеству и достоверности обрабатываемой информации, так как от этого зависит оперативность принимаемых решений о ликвидации техногенных аномалий и последствий экологических катастроф.

## 1. Состав и структура комплекса аппаратуры для регистрации эмиссии и поглощения оптического и ВЧ-излучений

Структурная схема комплекса, включающая отдельные программы, представлена на рис. 2.

Общий интерфейс комплекса аппаратуры для регистрации эмиссии и поглощения оптического и ВЧ-излучений предназначен для вызова необходимого программного модуля, представленного на рис. 3.

Данный программный комплекс позволяет производить расчеты в реальном времени (блок «Измерение») и расчеты по выбранным моделям (блок «Моделирование»), является открытым, имеет удобный пользовательский интерфейс WIMP с возможностью графического представления результатов расчетов, доступом к файлам данных, высокой скоростью математических вычислений, допускающий дальнейшее расширение и изменение алгоритмов вычислений.

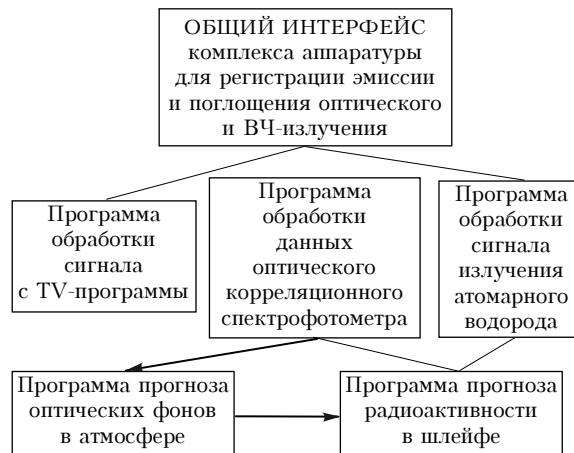


Рис. 2. Структура программного обеспечения комплекса аппаратуры для регистрации эмиссии и поглощения оптического и ВЧ-излучений, газовых аномалий в атмосфере

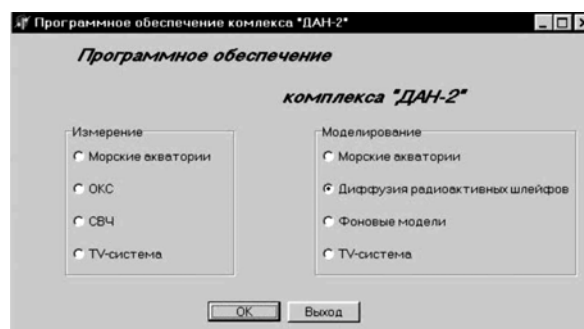


Рис. 3. Основное меню программного обеспечения «ДАН-2»

При запуске программного обеспечения комплекса «ДАН-2» в текущей директории выбирается загрузочный модуль **SYSTEM.EXE**, появляется основное меню — главная кнопочная форма, с помощью которого выбирается тип проводимых экспериментов.

**Программа обработки сигнала с TV-системы** используется совместно с преобразователем BWF50-768/512-8. Преобразователь видео BWF50-768/512-8 предназначен для преобразования видеосигнала черно-белого телевизионного изображения импульсных, динамических или статических сцен в стандарте CC1R или яркостной составляющей полного цветного телевизионного изображения в стандарте PAL в цифровой эквивалент, хранения его в буферном запоминающем устройстве — видеопамяти (БЗУ) преобразователя, считывания его в память компьютера и отображения текущего или запомненного изображения на выносном мониторе. Логическая структура «Программы обработки сигнала с TV-системы» приведена на рис. 4.

Входными данными для этой программы обработки является TV-сигнал в заданном формате. Форма сигнала синхронизации на видеовыходе повторяет форму сигнала синхронизации на видеовходе. Входными данными программы является преобразованное по уровням и способу фильтрации TV-изображение в заданном формате. Видеовыход — полный композитный видеосигнал размахом 1 В на нагрузке 75 Ом.

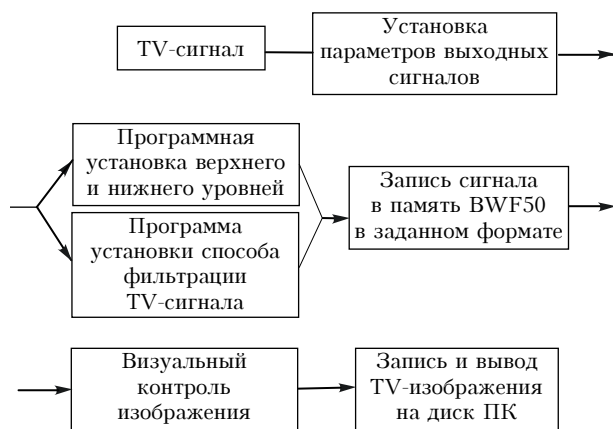


Рис. 4. Логическая структура «Программы обработки сигнала с TV-системы»

**Программа обработки данных оптического корреляционного спектрофотометра (ОКС)** предназначена для регистрации двух сигналов с АЦП-196-6 в пассивном измерителе концентрации газов. Она разработана на языке программирования «Бейсик» в Турбо-среде (рис. 5). Некоторые функции реализованы на ассемблере. Дистанционный индикатор выбросов создан в двух модификациях, работающих в ближней УФ (0,3–0,4 мкм) и ИК (3–4,5 мкм) областях спектра соответственно [7]. Дальность зон-

дирования — до 5000 м; диапазон измерений объемных концентраций составляет  $10^{-4}/D - 10^{-5}/D$ , где  $D$ , м — диаметр факела. Первоочередные определяемые газы:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{J}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ . Управление процессом измерений, обработка и отображение на экране монитора ПК осуществляются программой «ОКС» в реальном масштабе времени. С помощью этой программы на основе экспериментальных данных проведена оценка распространения газовой-аerosольных выбросов для различных типов промышленных аномалий в приземной атмосфере [9].

Более подробно рассмотрим работу программы обработки данных оптического корреляционного спектрофотометра, в состав которой входят 5 подпрограмм, предназначенных для выбора начальных параметров; расчета основных параметров; расчета концентрации выбранных газов; просмотра результатов вычисления; работы с файлами.

*Подпрограмма выбора начальных параметров* обеспечивает выбор вида измеряемого газа ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  и др.) и задание начальных параметров эксперимента (например, интервал измерений, с; длительность работы, мин).

*Подпрограмма расчета основных параметров* отвечает за вычисление коэффициента фона, обусловленного яркостью неба и влиянием подстилающей поверхности, а также аппаратными шумами, и коэффициента корреляции между фоновым и полезным сигналом.



Рис. 5. Структурная схема программы обработки данных оптического корреляционного спектрофотометра

Подпрограмма расчета концентрации выбранных газов осуществляет два вида расчетов концентрации газа: в реальном времени согласно выбранному направлению и виду профиля концентрации (горизонтальному и вертикальному); с использованием регенерации входных и измеренных данных эксперимента (последнего по времени проведения).

Подпрограмма просмотра результатов вычисления позволяет представлять и просматривать полученные результаты в табличном, графическом видах и выводить их на печать. Подпрограмма работы с файлами обеспечивает сохранение данных эксперимента с типом «.dat».

После запуска программного модуля OKS.EXE, обрабатывающего два входных сигнала: первый – ослаблен ореолом шлейфа, второй – ореолом шлейфа и кюветой, на экране появляется начальная заставка с перечнем газов, которые возможны для инспектирования (рис. 6). Здесь же задаются параметры по интервалу измерений (с) и по длительности (мин).

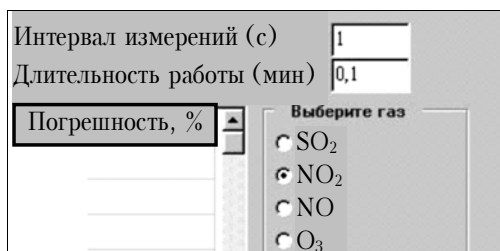


Рис. 6. Фрагмент меню для выбора газа и ввода параметров эксперимента

Далее проводятся измерения фона и калибровка с использованием стандартной калибровочной кюветы (необходимо соблюдать последовательность этих действий). После нажатия клавиши «Измерение фона» появляется график (рис. 7), отражающий полученные сигналы с двух каналов АЦП, и числовое значение коэффициента фона.

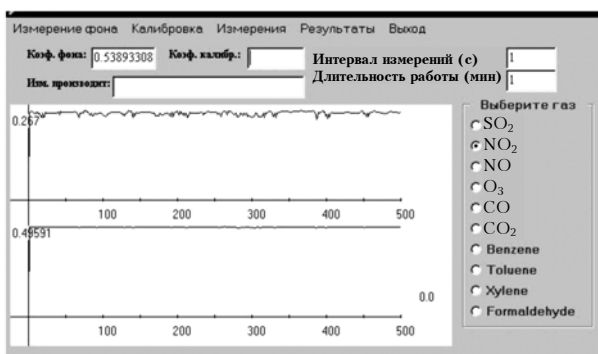


Рис. 7. График «Измерение фона»

После измерения фона проводится калибровка с имеющейся установочной кюветой, при этом появляется возможность ввода стандарта кюветы. В итоге вычисляется коэффициент калибровки между фоном и полезным сигналом. Программой предусмотрена реализация двух видов измерения: «регенерация данных и расчет» (режим «Моделирование») и «расчет

в реальном времени» (режим «По фиксированному направлению»), пример меню представлен на рис. 8.

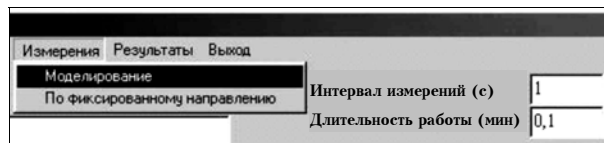


Рис. 8. Меню выбора вида измерения

При выборе режима «Моделирование» задается имя файла, где хранятся данные последнего по времени проведения эксперимента, и программа производит заполнение полей исходных параметров, коэффициентов фона, калибровки и таблицы результатов. И затем возможна дальнейшая обработка восстановленных данных.

При выборе режима «По фиксированному направлению» начинается заполнение таблицы измерений в реальном времени с указанным интервалом измерений, который выдерживается с помощью внутреннего таймера Windows. По завершении эксперимента на экране монитора видна таблица с заполненными параметрами: среднее значение измерения, среднеквадратичная дисперсия, аппаратная погрешность. Пример таблицы расчетов представлен на рис. 9.

Сек.	Ср. значение	Дисперсия	Погрешность, %
1.0	31.4	1.8	30
2.0	28.8	1.8	30
3.0	19.8	1.9	30
4.0	33.3	0.7	30
5.0	18.2	3.9	30
6.0	19.4	3.0	30
7.0	38.1	1.5	30
8.0	25.0	4.9	30
9.0	27.5	2.0	30
10.0	21.2	2.2	30

Рис. 9. Таблица экспериментальных значений

Вид представления экспериментальных данных определяется в меню «Результаты» (рис. 10), которые можно просмотреть в табличном и в графическом видах, а также сохранить в файл.

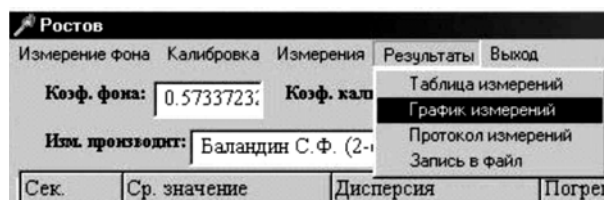


Рис. 10. Меню выбора вида просмотра полученных результатов

При выборе пункта «Протокол измерений» осуществляется вывод на печать результатов проведенного эксперимента: таблица значений (см. рис. 9) и график (рис. 11).

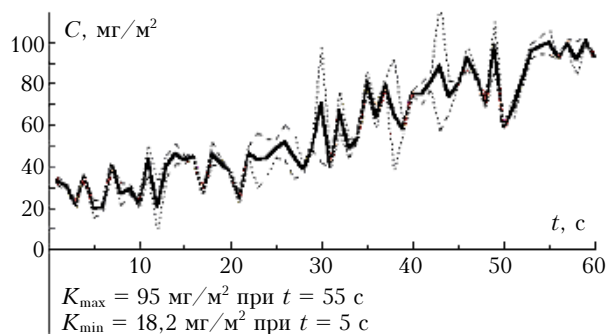


Рис. 11. Среднее значение концентрации  $C$  измеряемого газа  $\text{NO}_2$  и дисперсия

**Программа обработки сигналов излучения атомарного водорода** предназначена для обеспечения интерфейса с модулем АЦП через специализированное модемное устройство ISA, для отображения получаемой информации на экране монитора, для записи данных в виде файлов на жесткий диск, а также для обработки всех файлов, полученных в результате эксперимента и создания файла данных. Логическая структура «Программы обработки сигналов излучения атомарного водорода» приведена на рис. 12.



Рис. 12

Входными данными для *модуля отображения и записи* данных является поток двоичных 12-разрядных чисел с АЦП. Выходными данными для *модуля отображения* являются бинарные числа на 4096 2-байтовых числах (16 файлов за 1 акт измерения с интервалом 4 с).

Входными данными для *модуля обработки* являются набор файлов, записанных модулем отображения и записи за весь период эксперимента, а также время начала и время окончания записи. Время записи каждого файла определяется внутренним временем компьютера и входит в название записываемых файлов. Выходными данными для *модуля обработки* являются файлы данных в виде десятичных чисел с двойной точностью, расположенных в три столбца: время, интенсивность, ошибка усреднения.

**Программа прогноза радиоактивности в шлейфе** предназначена для расчета распределения концентрации примеси в атмосфере в результате промышленных выбросов. Для проведения расчетов используются три модели распространения примесей в атмосфере от их источников: гауссова модель, модель Берлянда, региональная модель [10, 11].

Программа прогноза радиоактивности в шлейфе может выполнять следующие функции [9]:

- рассчитывать концентрацию примеси с помощью трех моделей распространения примесей от их источников: гауссовой модели, модели Берлянда, региональной модели;
  - выбирать тип производимых расчетов для каждой модели;
  - вводить, корректировать входные параметры для вычислений;
  - выбирать входные параметры из таблицы, используемой по умолчанию;
  - подключать другие таблицы входных параметров;
  - пополнять и редактировать списки входных параметров в имеющихся таблицах;
  - рассчитывать приземную концентрацию примеси, а также концентрацию примеси в горизонтальной плоскости на произвольной высоте (для гауссовой модели и модели Берлянда);
  - рассчитывать распределение максимальной концентрации примеси в атмосфере (для гауссовой модели и модели Берлянда);
  - рассчитывать концентрацию примеси в атмосферном столбе на произвольном расстоянии от источника выброса (для гауссовой модели и модели Берлянда);
  - рассчитывать распределение концентрации примеси на траектории ее распространения с шагом по времени (для региональной модели);
  - представлять результаты расчетов в графическом виде (для всех моделей);
  - записывать результаты в файл, копировать в буфер обмена, распечатывать графическое представление результатов расчета (для всех моделей);
  - изменять масштаб графиков по оси абсцисс;
  - вычислять максимальное значение концентрации примеси, расстояние и высоту, на которой оно достигается (для гауссовой модели и модели Берлянда);
  - представлять результаты расчетов в табличном виде (для региональной модели);
  - сохранять таблицу результатов расчета в файл (для региональной модели).
- Для запуска программы служит загрузочный модуль POLUTION.EXE.

**Программа прогноза оптических фонов в атмосфере** позволяет рассчитывать уровень засветки приемного канала от естественных источников помех (рассеянное солнечное излучение и тепловое излучение подстилающей поверхности и атмосферы) [12]. При расчете параметров распространения оптического сигнала в атмосфере необходимы данные о зональных, сезонных и суточных изменениях высотных профилей распределения параметров поглощающих газов, аэрозолей, облаков, метеопараметров, характеристик турбулентных воздушных потоков, особенно в приземной атмосфере. В ИОА СО РАН на основе большого объема экспериментальных данных разработана комплексная оптическая модель атмосферы [13], включающая высотные профили метеопараметров и оптических характеристик

атмосферы и послужившая основой при создании банка данных для данной программы.

### Заключение

Программный комплекс разработан на основе объектно-ориентированной среды программирования Delphi и методик расчета, оценок и прогноза характеристик атмосферных аномалий. Применение модульного принципа позволило реализовать все подсистемы независимо друг от друга. При этом они могут работать как самостоятельно, так и в общем комплексе программ. Система обработки данных аппаратного комплекса ДАН-2 имеет удобный графический интерфейс с возможностью представления результатов расчетов в виде единой скроллинговой таблицы и графиков, с доступом к файлам данных, высокой скоростью математических вычислений, возможностью дальнейшего расширения и изменения алгоритмов, может быть использована для решения различных задач экологического мониторинга атмосферы. Система использует WIMP-интерфейс и предназначена для специалистов с различным уровнем компьютерных знаний.

1. Копытин Ю.Д., Носов В.В., Чистякова Л.К. Технология инспектирования индустриальных и геохимических аномалий приземной атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 10. № 10. С. 1188–1204.
2. Копытин Ю.Д., Носов В.В., Антипов А.Б., Исакова А.И., Самохвалов М.А., Чистякова Л.К. Дистанционные методы прогноза нефтяных, рудных и техногенных аномалий по геоатмосферным проявлениям. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2000. 314 с.
3. Harrison L., Michalsky J., Berndt J. Automated multi-filter rotating shadow-band radiometer: an instrument for optical depth and radiation measurements // Appl. Opt. 1994. V. 33. N 22. P. 5118–5125.
4. Баландин С.Ф., Соловьев А.А., Копытин Ю.Д. Мобильная аппаратура для дистанционного контроля газо-

вого состава промышленных зон промобъектов // Тезисы докл. 1-го Межреспублик. симп. «Оптика атмосферы и океана». Ч. 2. Томск, 1994. С. 194–195.

5. Chistyakova L.K., Losev D.V., Penin S.T., Tarabrin Yu.K., Yakubov V.P., Yurjev I.A. Microwave radiation of atomic hydrogen in plumes of radioactive emissions from nuclearreprocessing plants // J. Microwave and Optical Technol. Lett. 1997. V. 16. N 4. P. 255–260.
6. Chistyakova L.K., Isakova A.I., Smal O.V., Penin S.T., Kataev M.Yu., and Kopytin Yu.D. Computer realization of estimations of the atmospheric anomalies caused by gas-aerosol pollution of the near-ground atmosphere // Proc. SPIE. 2004. V. 5397. P. 162–172.
7. Копытин Ю.Д., Коханов В.И., Шишигин С.А. Дистанционная корреляционная спектроскопия аэрозольно-газовых выбросов промобъектов // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7. № 5. С. 664–668.
8. Пенин С.Т., Чистякова Л.К. Формирование и динамика излучения атомарного водорода в шлейфе выбросов ядерно-перерабатывающих предприятий // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 10. № 1. С. 73–81.
9. Ильенко С.П., Исакова А.И., Пеннин С.Т., Чистякова Л.К. Компьютерная система прогноза газовых шлейфов в атмосфере, обусловленных техногенными и литосферными источниками // Оптика атмосф. и океан. 2002. Т. 15. № 8. С. 702–711.
10. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / Под ред. Ф.Т.М. Ньюстада и Х. Ван Допа. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 352 с.
11. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 272 с.
12. Беляев Е.Б., Исакова А.И., Копытин Ю.Д., Носов В.В. Компьютерная система определения влияния атмосферных эффектов на энергетические и точностные характеристики оптических систем // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6. № 10. С. 1317–1324.
13. Беляев Е.Б., Воробьев В.В., Землянов А.А., Кандидов В.П., Колосов В.В., Коняев П.А., Копытин Ю.Д., Кузиковский А.В., Лукин В.П., Носов В.В., Пенин С.Т., Пономарев Ю.Н., Семенов Л.П., Чистякова Л.К. Нелинейные оптические эффекты в атмосфере. Томск: Изд. ТФ СО АН СССР, 1987. 223 с.

A.I. Isakova, S.T. Penin, L.K. Chistyakova. **Software for complex research of man-made anomalies in the atmosphere.**

The software for DAN-2 system developed for registration of emission and absorption of optical and microwave radiation initiated by gas-aerosol pollution in the atmosphere is presented. The problem of automation of recording, storage and processing of the information measured in experiment has been solved.

Algorithms incorporated in subsystems of the program complex for calculation and estimation of atmospheric anomalies include:

- calculation of gas concentration in a plume of industrial emission taking into account gas-aerosol attenuation, the azimuth of the device sighting in the direction to the source and the illumination of the day-time sky;
- numerical modeling of formation and distribution of gas-aerosol emission fields in the atmosphere with the use of various models (Gaussian, Berlyand, etc.);
- the forecast of optical noise in the atmosphere taking into account different types of underground surfaces under various meteorological conditions;
- the restoration of the plume structure using its image.

Application of a modular principle allowed an opportunity to realize all subsystems independently for they could work both independently and in the common complex of programs. The software is produced with the use of the object-oriented programming environment Delphi. It has the convenient graphic interface with displaying calculation results in the form of scrolling tables and graphics, access to the data files, high speed of mathematical calculations, an both opportunity of the further expansion and change of calculation algorithms.