

## ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Легович Ю.С., Рождественский Д.Б.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

На всех объектах по уничтожению химического оружия создаются службы экологического мониторинга, которые предназначены для оценки состояния окружающей среды и степени нагрузки на природу, оказываемой процессом уничтожения. Эти системы непрерывного наблюдения представляют собой автоматизированные комплексы сбора информации и передачи ее в центр анализа данных. В информационно-аналитическом центре данные наблюдений подвергаются обработке и отсылаются потребителю.

Служба экологического мониторинга должна работать в двух основных режимах - в штатном режиме и в режиме чрезвычайных ситуаций (ЧС). В процессе штатной работы по заранее утвержденной программе отслеживается пространственно-временное распределение ОБ в течение всего времени уничтожения отравляющих веществ (ОВ). В случаях чрезвычайных ситуаций экологическая служба работает в оперативном режиме реального времени.

Составной частью системы экологического мониторинга комплекса по уничтожению ОБ являются метеорологические посты [1], организующие локальную метеорологическую сеть. Рассмотрим методы обработки и анализа данных наблюдения системы экологического мониторинга на примере обработки метеорологической информации. В штатном режиме работы метеорологическая информация необходима для получения пространственных осредненных оценок загрязнения. В случаях чрезвычайных ситуаций метеорологическая служба нацелена на определение границ ожидаемых областей поражения отравляющими веществами. Основная роль при этом отводится метеорологическим параметрам, которые являются основой как для формирования динамической модели облака ОБ, так и для решения задачи переноса.

Известно, что дальность переноса продуктов выброса зависит от высоты источника загрязнения над уровнем земли. При проектировании объектов уничтожения химического оружия этот фактор учитывается, поэтому область загрязнения от таких объектов, в том числе и при чрезвычайных ситуациях, не может превышать 20 – 25 километров. Механизмы ближнего переноса известны, однако, в случаях чрезвычайных ситуаций важной информацией является траектория движения центра облака в зоне нескольких километров от объекта. Для решения этой задачи требуется модель движения облака, входными параметрами которой является вектор скорости ветра, измеряемого на метеорологических постах.

**Модель траектории перемещения облака.** Для упрощения выкладок положим, что источник выброса совмещен с измерителем скорости ветра. Выберем две системы декартовых координат, одна из которых привязана к земной поверхности, и в начале координат которой находится источник загрязнения. Вторая система координат неподвижна относительно массы воздуха, а направления ее осей совпадают с соответствующими осями первой системы. Пусть в некоторый момент времени  $t_0$  у них совпадают начала координат, и этот момент времени соответствует моменту возникновения источника выброса. Образуется облако, центр массы которого привязан к началу координат подвижной системы. При наличии ветра эти системы перемещаются друг относительно друга, сохраняя направления осей. Проекция начала координат подвижной системы на неподвижную образует траекторию движения центра облака в неподвижной системе координат. Таким образом, центры координат связаны некой кривой, являющейся траекторией следа ОБ на поверхности земли. Определим закон движения центра облака по этому следу.

При измерениях ветра регистрируется вектор скорости, расположенный в горизонтальной плоскости. Разложив вектор по составляющим  $V_X$  и  $V_Y$  в неподвижной системе координат, получим составляющие скоростей движения подвижной системы координат вдоль осей  $X$  и  $Y$  неподвижной системы. Для получения закона движения начала координат подвижной системы относительно неподвижной, достаточно взять два

$$\text{интеграла} \quad S_X(t) = \int_t^{t_0} V_X(t) dt \quad \text{и} \quad S_Y(t) = \int_t^{t_0} V_Y(t) dt, \quad (1)$$

где  $S_X$  и  $S_Y$  проекции траектории следа в неподвижной системе координат,  $t$  – текущее время с момента  $t_0$ . Для построения траектории следа достаточно в выражении (1) поменять местами пределы интегрирования.

**Обработка и анализ данных наблюдения.** Алгоритмы основного прикладного программного обеспечения разработаны на основе теоремы отсчетов конечной выборки. Эта теорема формулирует правило вос-

становления дискретного процесса в окрестностях точек разрыва. Математическое выражение восстановления

$$\tilde{y}(d) = \frac{\sum_{n=-N}^N y(n) b_n \frac{\sin \pi(d-n)}{\pi(d-n)}}{\sum_{n=-N}^N b_n \frac{\sin \pi(d-n)}{\pi(d-n)}}. \quad (2)$$

Здесь  $N$  - число отсчетов выборки;  $y(n)$  - отсчеты выборки;  $y(d)$  - восстановленное значение функции в произвольной точке  $d$ ;  $b_n$  - коэффициенты взвешивания.

Данное выражение позволяет ответить на вопрос, - каково должно быть число отсчетов для восстановления наивысшей гармоники с требуемой точностью.

На основе этого алгоритма разработаны модули расчета производной дискретного процесса в окрестностях точек разрыва, расчета ряда Тейлора, модуля экстраполяции. Эти алгоритмы достаточно подробно описаны в [2]. Возможность расчета ряда Тейлора с удовлетворительной для практики сходимостью до десятого члена и более позволяет значительно улучшить многие методы численного анализа [3]. Так как для расчета траектории облака требуется алгоритм расчета неопределенного интеграла, выведем его на основе упомянутой теоремы. Сначала получим алгоритм для нахождения определенных интегралов, а затем и для неопределенных.

Обозначим последовательность равноотстоящих отсчетов, как  $a, b, c, \dots$ . Ставится задача вычислить

$$I = \int_a^b f(x) dx. \quad (3)$$

Разложим в ряд Тейлора функцию  $f(x)$  в точке  $a$ :

$$f(x) = f(a) + f'(a)(x-a) + f''(a) \frac{(x-a)^2}{2!} + f'''(a) \frac{(x-a)^3}{3!} + \dots$$

Подставив это выражение в (3), получим площадь между двумя отсчетами:

$$I = f(a)\Delta\tau + f' \frac{\Delta\tau^2}{2!} + f'' \frac{\Delta\tau^3}{3!} + \dots$$

Если имеется  $N$  отсчетов, тогда получим выражение для вычисления «квадратуры»:

$$I = \sum_{n=0}^N y(n)\Delta\tau + \sum_{n=0}^N y'(n) \frac{\Delta\tau^2}{2!} + \sum_{n=0}^N y''(n) \frac{\Delta\tau^3}{3!} + \dots$$

Для вычисления неопределенного интеграла в узловых точках достаточно в предыдущем выражении заменить предел интегрирования  $N$  на текущее значение  $m$  узловой точки:

$$I(m) = \sum_{n=0}^m y(n)\Delta\tau + \sum_{n=0}^m y'(n) \frac{\Delta\tau^2}{2!} + \sum_{n=0}^m y''(n) \frac{\Delta\tau^3}{3!} + \dots \quad (4)$$

Точность вычисления интеграла определяется последним используемым членом ряда (4). Траектория движения центра облака рассчитывается путем вычисления с помощью (4) проекций следа (1). Для получения прогностических значений необходимо рассчитать производные в конечной точке траектории.

1. Выражение (2) можно продифференцировать по аргументу  $d$
- 2.

$$3. \quad y^{(1)}(m) = \sum_{n=-N}^N [y(n) - y(m)] \frac{b_n}{b_m} \frac{(-1)^{(m-n)}}{m-n} \quad (5)$$

С помощью (5) рассчитываются значения первой производной в узловых точках  $m$  с точностью, превышающей известные методы конечных разностей или основанных на многочленной аппроксимации. Для получения производных более высокого порядка достаточно использовать последовательно (5) несколько раз.

Знание производных высоких порядков позволяет построить ряд Тейлора, который можно использовать для расчета функции за пределами ее задания

$$f(x) = f(x_0) + \frac{(x-x_0)}{1} f^{(1)}(x_0) + \frac{(x-x_0)^2}{2!} f^{(2)}(x_0) + \dots \quad (6)$$

Здесь  $x_0$  - конечная точка траектории, а  $x$  - значение аргумента в области экстраполяции.

На основе описанных методов и алгоритмов выполнен программный блок расчета движения облака под действием ветра и рассчитан прогноз его траектории движения. Программный блок состоит из двух проек-

тов; в первом рассчитывается траектория облака за два часа наблюдения, во втором рассчитан пятнадцатиминутный прогноз движения. При скорости ветра 5 м/сек. прогноз траектории центра облака равен 4,5 км. Следует отметить, что рассмотренная схема расчета проведена для одной метеорологической станции, расположенной рядом с объектом. В случае использования нескольких метеорологических постов эффективность прогноза может быть увеличена.

#### Литература

1. Автоматизированная информационно – измерительная система «ПОГОДА». Руководство по эксплуатации ИТАБ.416311.011 РЭ. Санкт-Петербург. 2001.
2. Рождественский Д.Б., Рождественский А.Е., Котельников А.Д. Математические технологии в численной экстраполяции. – Научные технологии, 2001, Т3, №2.
3. Каханер Д., МоулерК., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение. Москва, «Мир», 2001.

---

## PROCESSING AND ANALYSIS OF MEASUREMENTS IN THE SYSTEM ECOLOGICAL MONITORING OBJECTS FOR DESTROYING A CHEMICAL WEAPON

Legovich J., Rogdestvensky D.

Russian Academy of Sciences V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences

On territory, occupy by objects of destroying the poison materials, greater value has systems ecological monitoring, intended for the evaluation of condition of surround ambience and degrees of load on the nature, render process of destruction. These unceasing observing systems present itself automatic complexes of collection information and issue it in the center of analysis of data. In information-analytical center observed data are subjected to a processing and are refer consumer.

Methods of processing are defined by that problems, which are to dare a service ecological monitoring, they are distinguished depending on conditions of ambience and working an object. If object works in stable and scheduled mode, is provided by determined collection scheme and methods of processing. In the event of arising the exceeding situations a mode ecological monitoring sharply changes.

Consider methods of processing and analysis of results of observing on the example of processing the meteorological parameters. For each state of working systems ecological monitoring greater value has meteorological measurements. In the staff mode an meteorological measurement required for getting a spatial distribution of contamination in the area of ecological checking. In the event of exceeding situations an meteorological data are input parameters for models of calculation of path of motion cloud contamination and forecast of its spreading.

In the report is consider model of moving a center of a cloud, received on the base of the theorem of counting out an end sample, allowing get not only the most proper values of path of moving a clouds center, as well as predict a further behavior cloud.

Offered methods of calculation is expect to use in the ecological checking system for information of population and interested persons on the territory of object of destruction.

---