
УДК 504.056, 519.81

А. М. Башкатов

Приднестровский государственный университет
(Молдова, MD-3300, Тирасполь, ул. Восстания, 2а,
тел. (0-373-777) 16642, E-mail: tiras_bash@mail.ru)

Векторный поиск в задачах оценки рецессий очагов экологического риска

На основе векторного поиска предложен способ расчета и оперативного определения дрейфа границы экологического риска. Показана технология решения задач такого класса.

На основі векторного пошуку запропоновано спосіб розрахунку та оперативного визначення дрейфу межі екологічного ризику. Показано технологію розв'язання задач такого класу.

Ключевые слова: мониторинг, экологическая опасность, векторный поиск, функция отклика, ранг, факторное пространство, рецессия, дрейф очага.

В последние годы в мире отмечено значительное возрастание числа случаев природных и техногенных катастроф, что связано не только с происходящими в биосфере аномальными изменениями, но и с деятельностью человека. Из множества мер, принимаемых для ликвидации последствий подобных ситуаций, основную роль специалисты отводят мониторингу. Тем не менее, оперативным прогнозам развития складывающейся обстановки уделяется пока недостаточно внимания. В основном эти прогнозы связаны с измерением площади аварийных зон, оценкой нанесенного ущерба и отражают общие направления возможного развития событий, либо просто являются сравнением текущей ситуации с аналогичными случаями прошлых лет.

Свидетельство тому — паводковая ситуация в июле-августе 2008 года, сложившаяся в результате обильных дождей и таяния снегов в верховьях Карпат, что привело к значительному водосбросу в бассейнах рек Прут и Днестр [1—3]. Так, уровень воды в реке Днестр с 27.07.08 г. по 29.07.08 г. повысился на 5 м [1], что привело к масштабному подтоплению расположенных вдоль реки населенных пунктов, включая прибрежную зону городов Бендер и Тирасполя, уничтожению урожая, размыву частных домостроений, загрязнению береговой территории.

Другая довольно типичная ситуация связана с образованием зон повышенной загазованности в воздушной среде города, имеющего разветв-

ленную автомобильную сеть и окруженного промышленными предприятиями. Эти источники осуществляют выбросы вредных веществ, создавая зоны повышенного риска. Газовые образования в дальнейшем подвергаются рецессии или в безветренную погоду образуют застойные очаги повышенной экологической опасности.

Оценку таких ситуаций обеспечивает мониторинг среды. Однако комплексно контроль осуществляется только в крупных мегаполисах с применением специальных средств или данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Региональные населенные пункты и промышленные зоны такой возможности не имеют по финансовым соображениям. В городах снимаемые показатели регистрируются стационарными постами наблюдений и являются основанием для сводной отчетности, не отражая динамики и границ полей новообразований. Поэтому естественным становится вопрос оперативности получения точных данных об изменениях экологической обстановки, намечаемых тенденциях с учетом массива локальных показаний.

Для большей эффективности такого анализа целесообразно смоделировать процесс распространения (дрейфа) зоны поражения, учитывая особенности реальной местности (рельеф, растительность, размещение источников выбросов/риска), действие метеобстановки (розу ветров, сезонность, наличие осадков), временные тенденции (статистику).

На практике в качестве источников получения информации используют:

данные постов наблюдений;

ДДЗ территории, водного и воздушного бассейнов;

показания оперативных замеров датчиками и результаты их обработки.

Точки расположения стационарных постов наблюдений фиксированы, а получение ДДЗ достаточно дорого и требует обработки больших объемов данных (в основном графических), их интерполяции и специальной программной обработки [4]. Последний вариант представляется наиболее приемлемым, особенно для регионов, подверженных частым экологическим рискам. Рассмотрим вариант его реализации с применением симплексного метода оптимизации регистрируемых показателей датчиков — векторного поиска.

Реализация метода. Главная задача — узнать наиболее вероятное направление дрейфа очага риска. Предлагаемые решения должны включать техническую составляющую (для обеспечения процесса наблюдений и снятия показаний) и методико-математическую (для обработки полученной информации и установления векторов дрейфа).

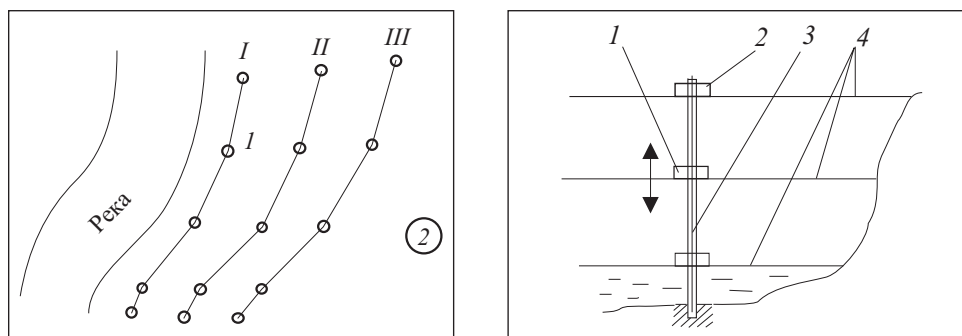


Рис. 1. Схема размещения поясов системы контроля: I, II, III — уровни размещения датчиков; 1 — индикатор; 2 — приемник-ретранслятор сигналов

Рис. 2. Схема работы поплавкового индикатора уровня: 1 — датчик; 2 — ограничитель-передатчик сигнала; 3 — стойка; 4 — уровень воды

Техническое обеспечение. В качестве аппаратной основы предлагаемой системы контроля над паводковой обстановкой рассмотрим схему (рис. 1), представляющую ярусное размещение цепи датчиков с установленным интервалом между поясами (для рельефа — 1 м по высоте, для плоских участков — от 10 до 20 м в плане).

Согласно имеющейся топооснове территории в точках изгиба реки вдоль береговой линии устанавливают цепи локальных датчиков контроля, принцип работы которых показан на рис. 2.

Оценка флуктуаций очагов повышенной загазованности обусловлена наличием большой площади контроля. С учетом особенностей конфигурации и типа преобладающей застройки города для размещения датчиков контроля загазованности относительно источника очага рекомендуется комбинированная схема, согласно которой вдоль дорожных магистралей целесообразно линейное расположение датчиков (число ярусов зависит от характера трассы), а для промышленно-жилищных зон — в виде круговых или полигональных охватывающих массивов с требуемым числом уровней безопасности.

Математический аппарат. Для установления вектора дрейфа по показаниям гирлянды датчиков может быть применен один из симплекс-методов оптимизации [5—7] — метод векторного поиска экстремума функции $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, суть которого заключается в использовании возможностей правильного симплекса, построенного в n -мерном факторном пространстве.

Поиск состоит из чередующихся периодов ориентации и восхождения (движения в направлении экстремума). Цель — определить наиболее

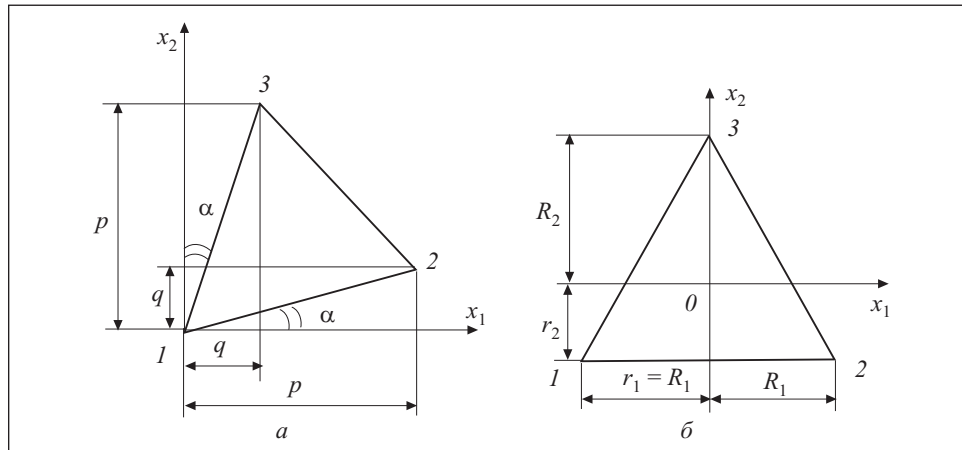


Рис. 3. Первый (а) и второй (б) способы задания начального симплекса [5]

перспективное направление движения, которое определяется как равнодействующий вектор направлений из всех $(n + 1)$ вершин симплекса. Восхождение по этому направлению происходит из центра симплекса. Система поиска обладает памятью: удачное в прошлом направление движения запоминается и учитывается при расчете очередного рабочего шага. При реализации алгоритма в периоды ориентации существенное значение имеет «возраст» точек контроля (показаний датчиков), который позволяет учитывать возможный дрейф поверхности отклика.

Рассмотрим задачу мониторинга паводковой обстановки. Вершинам симплекса присвоим значения рангов $1, 2, \dots, n + 1$, если их проранжировать в хронологическом порядке снятия опытных показаний: самой «старой» вершине (датчику цепи) приписывается значение 1, следующей по возрасту — значение 2 и так далее, а самой «молодой» — значение $n + 1$. В алгоритме поиска учитывается также тот факт, что с приближением к экстремуму полезный сигнал становится слабее (поскольку приращение функции отклика уменьшается, так как обычно поверхность отклика становится более пологой), а слежение — более трудным. Предусмотрены также приемы варьирования длин рабочего шага $R(Y)$ и коэффициента запоминания удачного в прошлом направления движения $\alpha(Y)$ от достигнутого уровня функции отклика (параметра оптимизации) Y .

Для упрощения данного алгоритма величину рабочего шага можно фиксировать ($R = \text{const}$), а параметру a придать только два значения: 1, если выход из последней ориентации был удачным, и 0, если выход был неудачным.

Поиск удобнее вести в пространстве безразмерных (нормированных) факторов, как это принято в теории планирования экспериментов. Рассмотрим алгоритм поиска для двухфакторной задачи (по данным двух смежных датчиков контроля). Тогда при ориентации система будет состоять из трех точек, расположенных в вершинах симплекса — правильного треугольника (рис. 3) [5].

Пусть система, находясь в периоде восхождения, совершила неудачный шаг $A_i \rightarrow A_{i+1}$ (где A_i, A_{i+1} — два последних следовавших одно за другим состояния системы), т. е. известны значения Y_{i+1} . Поиск проводим в соответствии со следующей операторной схемой:

$$\overbrace{P_1 \ W_2 \ P_3 \ P_4 \ P_5 \ P_6 \ W_7 \ Q_8} \quad \overbrace{P_9 \ W_{10} \ Q_{11}}, \quad (1)$$

где P — операторы, представляющие собой вычислительные процедуры; Q — логические операторы для принятия решения в возникающих при движении ситуациях; W — операторы, отражающие реализацию опытов (показания датчиков), на основании которых получают соответствующие отклики Y .

Действие алгоритма по схеме (1) основано на цепочном выполнении следующих операторов:

P_1 : расчетным путем (по правилам аналитической геометрии) находим точку A_{i+2} , которая вместе с точками A_i и A_{i+1} образует случайно ориентированный в двумерном пространстве правильный симплекс. В данном случае ($n = 2$) это одна из двух возможных точек, образующих с точками A_i и A_{i+1} равносторонний треугольник (выбирается случайным образом). При $n > 2$ число правильных симплексов, которые можно построить на двух точках A_i и A_{i+1} , бесконечно возрастает.

W_2 : реализуем замер в точке A_{i+2} , в результате получая отклик Y_{i+2} .

P_3 : находим единичный вектор

$$\alpha_{i,i+1,i+2}^0 = \frac{\sum_{j,k=1, j<k}^{n+1} q_{jk} \alpha_{jk}}{\left| \sum_{j,k=1, j<k}^{n+1} q_{jk} \alpha_{jk} \right|}, \quad (2)$$

где α_{jk} — вектор, направленный из точки A_j в точку A_k ($Y_k > Y_j$),

$$|\alpha_{jk}| = \frac{Y_k - Y_j}{d_{jk}};$$

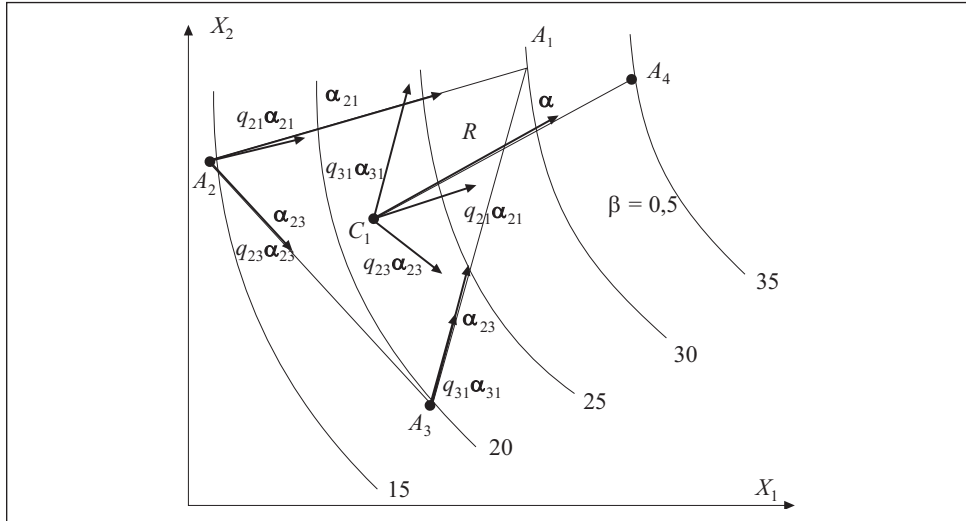


Рис. 4. Определение направления рабочего шага в методе вектора поиска [5]

d_{jk} — расстояние между точками A_i и A_k (так называемое ребро симплекса), при $n = 2$ — это длина стороны равностороннего треугольника,

$$q_{jk} = \frac{\beta(2n + Z_{jk}) + Z_{jk} - 3}{2(n-1)}.$$

Здесь Z_{jk} — сумма рангов j -й и k -й точек; β — коэффициент доверия результатам показаний датчиков, учитывающий их возраст, $0 < \beta \leq 1$, чем быстрее идет дрейф параметра, тем меньше должна быть величина β .

При построении вектора (2) в случае $n = 2$ происходит оценка изменения функции отклика Y по направлениям трех ребер двумерного симплекса — сторон равностороннего треугольника, в то время как в градиентных методах ее изменение оценивается лишь по двум направлениям: вдоль координатных осей. При увеличении размерности n число ребер существенно возрастает. Так, при $n = 3$ число ребер равно числу сочетаний $C_4^2 = 6$, при $n = 4$ $C_5^2 = 10$ и т. д. Это дает возможность весьма тщательно исследовать поведение функции отклика Y в факторном пространстве (X_1, X_2, \dots, X_n) в самых различных направлениях.

P4: находим вектор результирующей

$$\mathbf{R} = d(Y) \frac{\alpha_{i,i+1,i+2}^0 + \alpha(Y) \alpha_{i,i+1}^0}{|\alpha_{i,i+1,i+2}^0 + \alpha(Y) \alpha_{i,i+1}^0|},$$

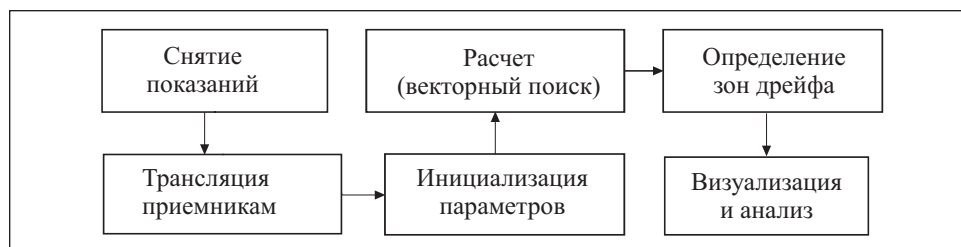


Рис. 5. Структурная схема работы системы векторного поиска дрейфа опасных зон

где

$$\alpha_{i,i+1}^0 = \frac{\alpha_{i,i+1}}{|\alpha_{i,i+1}|}, \quad \alpha_{i,i+1} = A_i A_{i+1}.$$

Вектор \mathbf{R} объединяет новое перспективное направление движения и прежнее удачное направление. Функции $d(Y)$ и $a(Y)$ необходимо создать предварительно, используя априорные представления о хороших и плохих значениях параметра оптимизации Y . Желательно, чтобы во время поиска функция $d(Y)$ изменялась монотонно в интервале $(1,5; 2,0)$, а функция $a(Y)$ — в интервале $(0,5; 1,0)$. При этом верхние границы интервалов должны соответствовать наилучшим значениям Y , а нижние — наихудшим.

Рассчитывая значения $d(Y)$ и $a(Y)$ оператора \mathbf{P}_4 , необходимо подставить в эти функции значение Y , полученное в последнем опыте (показании датчика).

\mathbf{P}_5 : находим центр тяжести C_T точек A_i, A_{i+1}, A_{i+2} (центр симплекса).

\mathbf{P}_6 : выполняем шаг из центра тяжести C_T , равный \mathbf{R} , и находим точку A_{i+3} .

\mathbf{W}_7 : реализуем опыт в точке A_{i+3} , определяем значение датчика (величину отклика) Y_{i+3} .

\mathbf{Q}_8 : 1) если Y_{i+3} меньше хотя бы двух значений Y , найденных ранее («неудача»), то выполняем переход к оператору \mathbf{P}_1 . Период ориентации начинается с точек A_{i+2}, A_{i+3} . Вектор $\alpha_{i,i+1}$ сохраняется неизменным до тех пор, пока система не совершает удачный шаг при восхождении;

2) если Y_{i+3} больше хотя бы двух значений Y , найденных ранее («удача»), то переходим к оператору \mathbf{P}_9 .

\mathbf{P}_9 : выполняем шаг длиной $d(Y)$ в направлении вектора \mathbf{R} и находим очередную точку A_{i+4} . Функция $d(Y)$ сохраняет свое прежнее значение.

\mathbf{W}_{10} : реализуем опыт в точке A_{i+4} и определяем значение Y_{i+4} .

\mathbf{Q}_{11} : 1) если $Y_{i+4} > Y_{i+3}$ («удача»), то выполняем переход к оператору \mathbf{P}_9 ;

2) если $Y_{i+4} \leq Y_{i+3}$ («неудача»), то выполняем переход к оператору P_1 .

Период ориентации начинается с точек A_{i+3}, A_{i+4} . Поиск начинается со случайного правильного симплекса, построенного на основе этих точек. Идея метода схематически представлена на рис. 4 [5].

Эффективность метода в значительной степени зависит от выбора параметров движения β, α, d . Рассматривая эти параметры как независимые переменные, подлежащие непрерывной корректировке во время поиска, можно еще больше адаптировать метод к конкретным особенностям полигона наблюдений [6, 8].

Применяя данную технологию, можно сформулировать последовательность шагов, осуществляемых в соответствии с рассмотренным симплекс-методом при определении направлений рецессии очагов риска (рис. 5).

Выводы. Эффективность предлагаемого подхода по сравнению с имеющимися аналогами заключается в получении более детальной схемы возможного развития кризисной ситуации, причем получении не априорно, а на основании реально снимаемых показаний и последующей обработки данных.

Точность получаемых показаний (а следовательно, и точность результата) определяется числом датчиков, заложенной в основу их работы технологией, функциональностью программной системы, используемой для обработки показаний и расчета характеристик векторов дрейфа границ (опасных зон). Поэтому размещение такой системы может быть рекомендовано в местах, наиболее подверженных рискам подтопления, повышенной загазованности, городских агломераций с наибольшей численностью населения или для стратегически важных объектов.

Перспективным представляется включение предлагаемой системы контроля в общую структуру мониторинга и гражданской защиты с занесением получаемых сведений в базу данных и организацией графического вывода (карты, схемы, диаграммы) при построении моделей развития событий.

The vector search as a method of calculation and operative determination of the drift of the border of ecological risk has been suggested. It gets a simplex method of mathematical description and shows technology of solution of such class problems.

1. В зоне затопления в Приднестровье оказалось 138 частных домов. Дайджест новостей [Электронный ресурс]. — www.regnum.ru
2. На Украине сильные осадки унесли жизни 22 человек [Электронный ресурс] — www.newsru.com
3. Природная катастрофа становится реальной. Молдова и Приднестровье. [Электронный ресурс] — www.tiras.ru

4. Павлов С. В., Галямов С. Р., Христовуло О. И. Паводковая ГИС Башкортостана — ArcReview. — 2006. — № 4 (39).
5. Долгов Ю. А. Статистическое моделирование/ Учебн. для вузов. — Тирасполь : РИО ПГУ, 2002. — 280 с.
6. Иоселиани А. Н. Методы оптимизации параметров теплообменных аппаратов АЭС. — 1981. — 144 с. [Электронный ресурс] — www.nglib.ru
7. Машунин Ю. К. Методы и модели векторной оптимизации. — 1986. — 145 с. [Электронный ресурс] — www.oglibrary
8. Менчер Э. М. Методические основы эффективного экологически чистого земледелия. — Кишинев : Stiinta — Veritas S.R.L., 1994. — С. 23—30.

Поступила 20.05.09

БАШКАТОВ Александр Майорович — науч. сотр. научно-исследовательской лаборатории «Математическое моделирование» Приднестровского госуниверситета. В 1986 г. окончил Днепрпетровский госуниверситет. Область научных исследований — разработка средств и математических методов для экологического мониторинга городской среды.