

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОГНИТИВНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЗАДАЧ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В качестве инновационного метода моделирования решений при подготовке должностных лиц органов управления различных уровней предлагается использовать модифицированные алгоритмы анаморфирования, позволяющие проводить визуальное моделирование решений с учётом отдельных и комплексных показателей.

Ключевые слова: должностное лицо органа управления, когнитивная компьютерная графика, анаморфирование, электронная карта местности.

V.I. Terehov

USE OF METHOD COGNITIVE COMPUTER GRAPHICS IN THE PROBLEMS OF PLANNING OF PREVENTING AND ELIMINATION OF EMERGENCIES

As an innovative method of simulation solutions for training of officials of various levels of government are encouraged to use the modified anamorphose algorithms that allow for visual simulation solutions, taking into account individual and complex indices.

Key words: the official governing body, cognitive computer graphics, anamorphosing, electronic map of the area.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 8 апреля 2011 г.

По данным страховых организаций, общемировой экономический ущерб только от стихийных бедствий за 60-е гг. составил 40 млрд долл. США. В 80-х гг. этот показатель вырос до 120 млрд долл. США. В первой половине 90-х гг. ежегодный ущерб от стихийных бедствий более чем в 10 раз превысил уровень данного показателя за 60-е гг. Суммарный ущерб за 90-е гг. приблизился к 400 млрд долл. США. По оценке МЧС России, уже сейчас ущерб от природных бедствий во много раз превышает возможности мирового сообщества по оказанию гуманитарной помощи пострадавшим.

Статистика техногенных и природных аварий и катастроф, произошедших в России за последние 10-15 лет, показывает, что их последствия становятся все более опасными для объектов экономики, населения и окружающей среды. Уже в настоящее время прямой и косвенный ущерб от них составляет 4-5 % от валового национального продукта.

В этих условиях резко возрастает необходимость подготовки и осуществления мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций

(ЧС) природного и техногенного характера, что в свою очередь предъявляет повышенные требования к уровню профессиональной подготовки руководящего состава и к системе их обучения. Известно, что принятие решения является основой процесса управления, поэтому особое внимание в этом контексте должно уделяться инновационным методам моделирования решений по предупреждению и ликвидации ЧС в повседневной деятельности и в процессе обучения *должностных лиц органов управления* (ДЛ ОУ).

Динамизм изменения обстановки, неопределенность и неполнота поступающих данных, сокращение времени на реагирование и ликвидацию ЧС, необходимость учёта характеристик местности, широкое использование гео-данных, привязка к рельефу местности, многоплановость и многовариантность решения задач инженерной защиты населения и территорий требуют поиска новых форм представления актуальной информации в виде, удобном для восприятия и анализа, а также позволяющем автоматизировать действия ДЛ ОУ при моделировании решений по предупреждению и ликвидации ЧС на *электронной карте местности* (ЭКМ).

Одним из методов, позволяющих осуществить такое моделирование, является анаморфирование (преобразование) [1], относящееся к методам *когнитивной компьютерной графики*.

Преимущество анаморфирования состоит в том, что оно позволяет визуализировать сложные распределения различных показателей, которые необходимо учитывать ДЛ ОУ при принятии решения на ЭКМ, и уменьшает размерность пространства решения.

Сущность алгоритма анаморфирования состоит в том, что графическая часть решения (визуальный образ размещения сил и средств), построенная на топографической или ЭКМ в евклидовой метрике, преобразуется (анаморфируется) на основе выбранного показателя в двумерный визуальный образ. При этом внутренняя структура визуального образа изменяется таким образом, что распределение выбранных показателей становится равномерным (типовой вид) при сохранении топологического подобия с исходным визуальным образом.

В качестве выбранного показателя могут использоваться: проходимость местности, плотность населения, степень разрушений, концентрации загрязнений и т.п. Более того, показатель преобразования (анаморфирования) может быть комплексным, то есть состоящим из любого количества актуальных ДЛ ОУ показателей различной физической природы.

В самом общем виде опишем работу алгоритма анаморфирования.

На рис. 1 показан фрагмент карты местности с нанесённой на неё квадратной сеткой, каждой ячейке которой соответствует некоторый показатель, например, проходимость местности, и соответствующая ей трёхмерная матрица.

Трёхмерную матрицу проходимости можно представить в виде, показанном на рис. 2а.

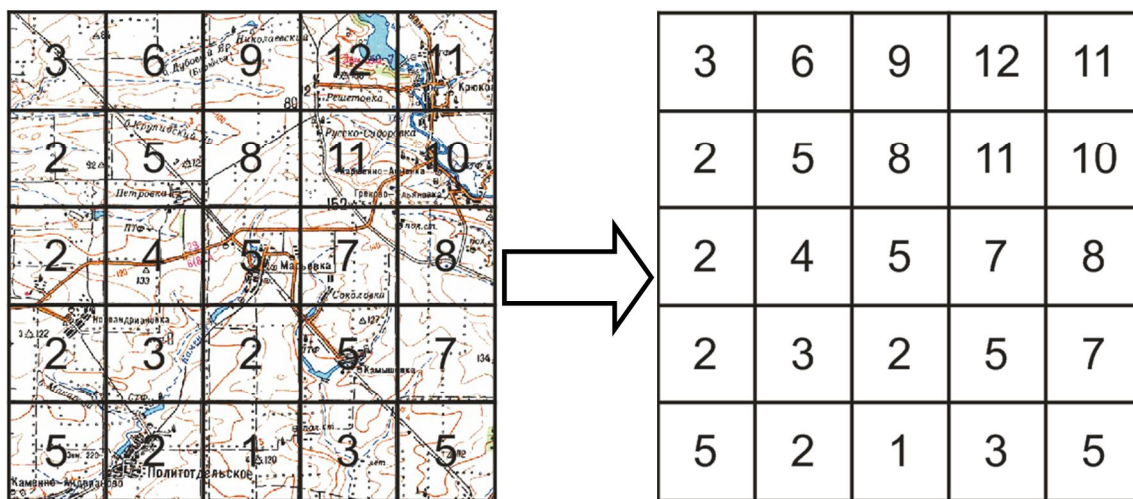


Рис. 1. Матрица проходимости местности

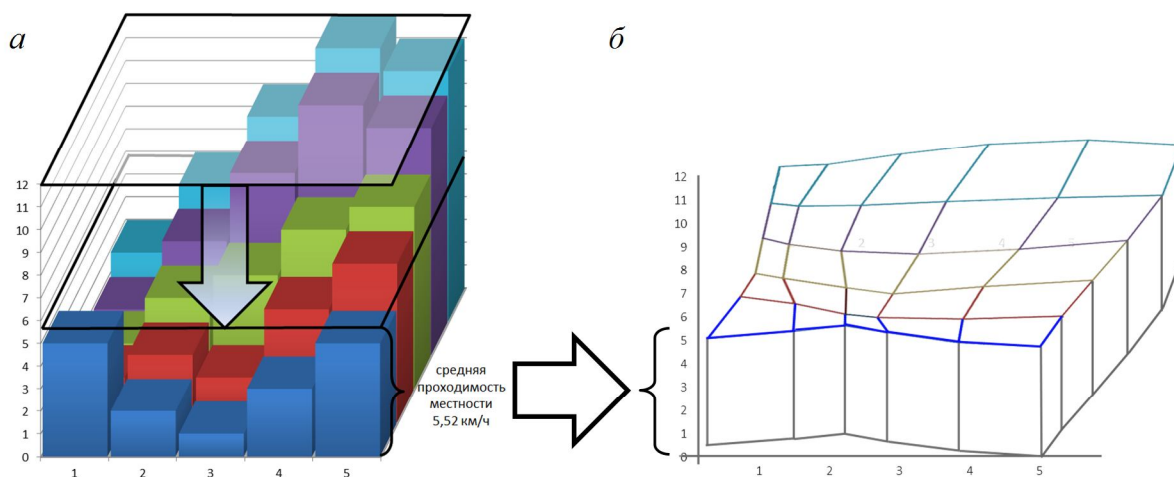


Рис. 2. Анаморфоза трехмерной матрицы проходимости местности

Здесь высота каждого столбика соответствует значению показателя в каждой ячейке исходной матрицы. Тогда операцию анаморфирования можно представить как накладывание стекла на верхнюю сторону матрицы с последующим надавливанием на него до уровня, равного среднему значению проходимости по всей матрице (в конкретном случае 5,52 км/ч).

В результате этой операции столбики, оказавшиеся выше среднего значения проходимости, уменьшаются до этого значения, увеличивая свою площадь ("расплываются"), а столбики, оказавшиеся ниже среднего значения проходимости, "подтягиваются" до этого уровня, уменьшая свою площадь (рис. 2б). Так как исходная сетка матрицы не теряет своей связности, в результате операции анаморфирования получается матрица, представленная на рис. 3.

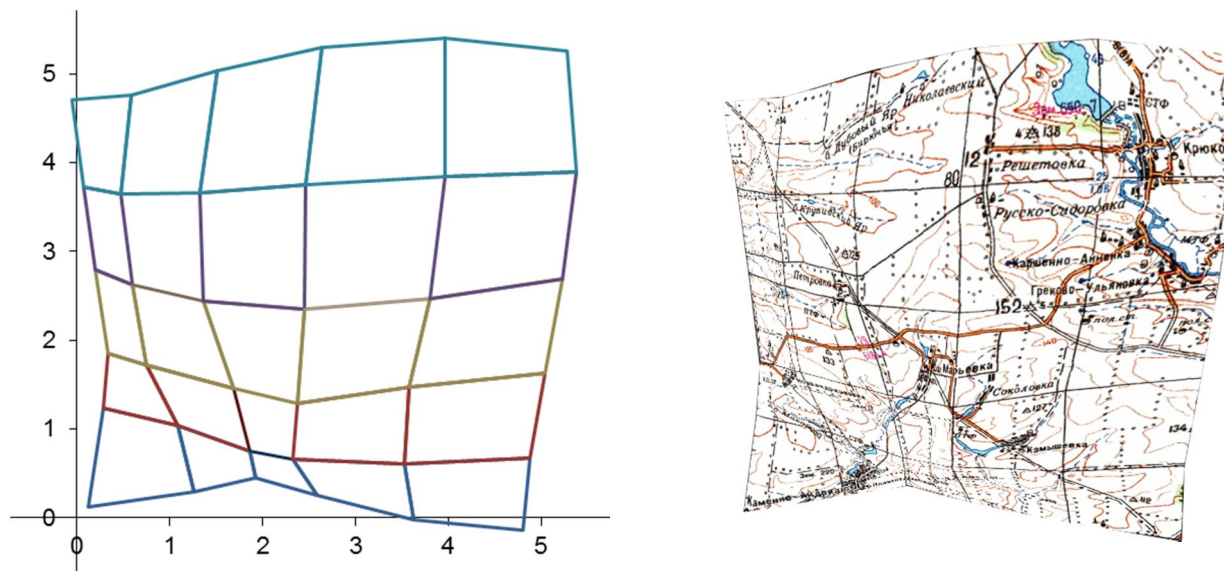


Рис. 3. Анаморфированная матрица и ЭКМ с учётом проходимости

При этом во всех ячейках полученной матрицы показатели анаморфирования одинаковы и равны среднему значению (5,52 км/ч), что даёт возможность моделировать решение по предупреждению и ликвидации ЧС в линейном пространстве выбранного показателя.

Так, например, варианты маршрутов движения подразделений для ликвидации ЧС на анаморфированной карте в линейном пространстве проходимости местности выглядят так, как представлено на рис. 4а, в евклидовом пространстве – так, как на рис. 4б.

Обратное преобразование, преобразующее построенную анаморфозу из линейного пространства выбранного показателя в исходное евклидово пространство (рис. 4), называется *антианаморфозой* или *морфингом* [3].

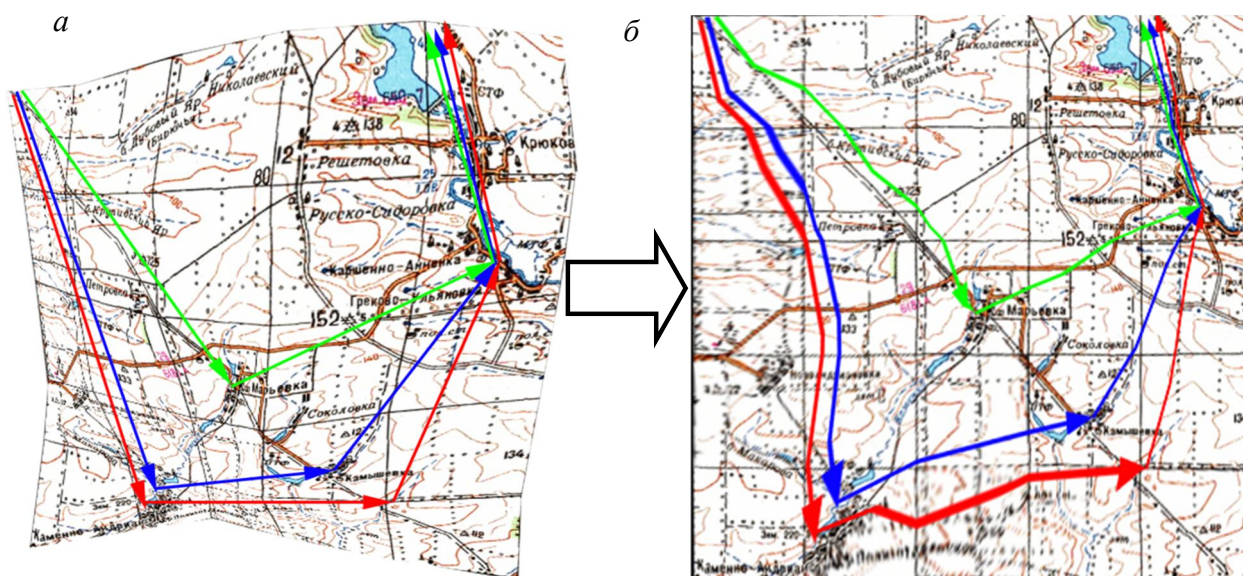


Рис. 4. Представление вариантов маршрутов движения подразделения в линейном пространстве проходимости местности – а, в евклидовом пространстве – б

Существующие численные методы построения анаморфоз [2], несмотря на их разнообразие и простоту реализации, обладают большой трудоёмкостью этапа подготовки исходных данных, медленной сходимостью, нарушением целостности получаемого визуального образа, зависимостью от порядка обрабатываемых вершин ячеек матрицы, от порядка перебора ячеек и работают, преимущественно, с одним показателем анаморфирования.

Поэтому для решения задачи по предупреждению и ликвидации ЧС необходимо модифицировать алгоритм анаморфирования таким образом, чтобы, используя существующие наработки, он был максимально свободен от указанных выше недостатков.

Рассмотрим математическую постановку задачи работы алгоритма анаморфирования, исходя из следующих соображений.

Пусть D – область на плоскости R^2 (площадная фигура, построенная на основе выбранного показателя), которая должна быть анаморфирована. Распределение показателя описывается функцией плотности $\rho(z)$, определённой априори на части D ($z = (x, y)$ – точка на плоскости R^2). Без потери общности можно полагать, что $\rho(z)$ определена на всей плоскости R^2 . Тогда $\rho(z) = \text{const}$ вне области D (например, как среднее значение $\bar{\rho}$ функции $\rho(z)$).

Анаморфоза задаётся преобразованием $h: R^2 \rightarrow R^2$ ($h: (x, y) \mapsto (u, v)$) или двумя функциями двух переменных: $U(x, y)$ и $V(x, y)$,
где $u = U(x, y)$, $v = V(x, y)$. (1)

Эти функции должны быть определены и непрерывны на D .

Коэффициент изменения площади в окрестности точки (x, y) преобразованием h равен значению якобиана преобразования h в этой точке

$$J(U, V) = \frac{\partial U}{\partial x} \cdot \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{\partial U}{\partial y} \cdot \frac{\partial V}{\partial x}.$$

Поэтому условие того, что преобразование (1) делает величину $\rho(x, y) = \bar{\rho} = \text{const}$, может быть записано как $J(U, V) = \rho(x, y) / \bar{\rho}$.

Таким образом, задача нахождения анаморфозы сводится к решению уравнения

$$\frac{\partial U}{\partial x} \cdot \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{\partial U}{\partial y} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\rho(x, y)}{\bar{\rho}}, \quad (2)$$

для которого $[U(x, y), V(x, y)]$ определяют взаимно-однозначное преобразование.

Построение анаморфоз на компьютере встречает трудности двух типов. Первые из них связаны с компьютерной реализацией алгоритма. Это задачи преобразования исходных площадных фигур в форму, пригодную для компьютерной обработки (с этой задачей достаточно успешно справляются такие геоинформационные системы, как ArcInfo, MapInfo, "Панорама" и "Интеграция"), численной реализации алгоритма с контролем сохранения взаимной однозначности преобразованных площадных фигур и представления результатов расчётов в виде, удобном для их дальнейшей обработки.

Второй класс трудностей связан с тем, что условие выравнивания заданной плотности не определяет анаморфозу однозначно. Существует бесконечно много преобразований, удовлетворяющих этому условию, что следует из (2).

Построенное анаморфированное изображение без нарушения постоянства плотности может быть изменено применением любого преобразования, сохраняющего площадь, например:

1) $(u, v) \mapsto (k \cdot u, k^{-1} \cdot v)$ (растяжение вдоль одной из осей и сжатие вдоль другой с тем же коэффициентом);

2) $(u, v) \mapsto (u + f(v), v)$, $(u, v) \mapsto (u, v + g(u))$ (сдвиг горизонтальных и вертикальных прямых вдоль самих себя на различные расстояния).

В качестве требования при выборе анаморфозы можно использовать условие конформности преобразования (1). Конформное преобразование изменяет все расстояния умножением на один и тот же коэффициент, не зависящий от направления (углы между прямыми линиями сохраняются). Преобразование, которое локально изменяет все расстояния с помощью умножения на $\sqrt{\rho(x, y)}$, единственно и не зависит от выбора системы координат [2].

Конформное преобразование с заданным коэффициентом линейного растяжения, равным $\sqrt{\rho(x, y)}$ (или с коэффициентом изменения площадей, равным $\rho(x, y)$), существует не всегда.

Условие конформности преобразования (2) может быть записано в виде

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 = \rho(x, y) \\ \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 = \rho(x, y) \\ \frac{\partial U}{\partial x} \cdot \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \cdot \frac{\partial U}{\partial y} = 0 \end{cases}$$

Это условие состоит из трёх уравнений относительно двух неизвестных функций $U(x, y)$ и $V(x, y)$. Обычно такая система не имеет решений. Для существования такого преобразования необходимо, чтобы функция плотности $\sqrt{\rho(x, y)}$ удовлетворяла уравнению

$$\Delta \ln \rho \equiv \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \rho / \partial x}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \rho / \partial y}{\rho} \right) = 0,$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – лапласиан.

Это уравнение означает, что кривизна, определённая метрикой $\rho(x, y)(dx^2 + dy^2)$, должна быть равна нулю.

Таким образом, возникает задача поиска среди различных преобразований того, которое инвариантно к любой замене декартовой системы координат и конформно.

Анализируя недостатки существующих алгоритмов анаморфирования и сущности их работы, можно сделать вывод о том, что компьютерная реализация алгоритма должна учитывать следующие моменты.

Во-первых, необходимо, чтобы на каждом шаге на сдвиг точек (в том числе – вершин) в той или иной степени влияли все ячейки разбиения. Для этого необходимо, чтобы на каждом шаге сдвиг точки был равен векторной сумме сдвигов от влияния отдельных ячеек.

Во-вторых, влияние ячейки на точку должно состоять в перемещении этой точки вдоль прямой, соединяющей её с некоторой точкой ячейки (например, с её центром масс). Это условие связано с требованием инвариантности алгоритма по отношению к выбору системы координат.

В-третьих, перемещение точки под влиянием ячейки должно убывать с увеличением расстояния от этой ячейки.

Иначе говоря, необходимо построить инвариантный алгоритм анаморфирования по отношению к начальному разбиению визуального образа на ячейки (в пределах которых плотность считается постоянной) и эффективно работает в режиме реального времени.

Если в качестве N ячеек принимаются связные области произвольной формы, граница каждой из которых описана $i = \overline{1, P}$ вершинами, то влияние любой ячейки на рассматриваемую вершину можно определить, исходя из следующих соображений.

$$\text{Пусть произвольная ячейка имеет площадь } s_i = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_{i1} & y_{i1} & 1 \\ x_{i2} & y_{i2} & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{in} & y_{in} & 1 \end{vmatrix},$$

а $\rho_i(x, y) = \rho_i$. В случае анаморфирования она должна быть деформирована таким образом, чтобы её площадь стала равной $\bar{s}_i = s_i \cdot \rho_i / \bar{\rho}$ ($\bar{\rho}$ – среднее значение показателя на единицу площади). Без потери общности предположим, что ячейка имеет форму круга радиуса $R = \sqrt{s_i / \pi}$. В результате естественного анаморфирования с помощью гомотетии этот круг переводится в круг радиуса $\bar{R} = \sqrt{\bar{s}_i / \pi}$, сохраняя значение показателя по всей остальной площадной фигуре.

Возьмём полярную систему координат с началом в центре круга. В ней анаморфирование осуществляется переводом вершины (r, φ) в вершину $(\bar{r}, \bar{\varphi})$

$$\bar{r} = \begin{cases} (\bar{R}/R) \cdot r & \text{при } r \leq R; \\ \sqrt{r^2 + (\bar{R}^2 - R^2)} & \text{при } r > R, \end{cases}$$

где $\bar{\varphi} = \varphi$,

r – расстояние между рассматриваемой вершиной многоугольника и центром влияющей ячейки.

Влияние центра одной ячейки на любую вершину другой ячейки выражается в сдвиге этой вершины на расстояние $r(\bar{R}/R - 1)$ при $r \leq R$ и $\sqrt{r^2 + (\bar{R}^2 - R^2)} - r$ при $r > R$. Это влияние описывается радиус-вектором вершины многоугольника v с началом в центре ячейки, умноженным на коэффициент $(\bar{R}/R - 1)$ при $r \leq R$ или $\sqrt{1 + (\bar{R}^2 - R^2)/r^2} - 1$ при $r > R$. В качестве

центра ячейки может выбираться её геометрический центр или точка пересечения медиан – центр тяжести многоугольника и т.п.

Поскольку невозможно получить преобразование, дающее требуемую анаморфозу явно, за один шаг, переходят к итерационным процедурам, которые на каждом шаге учитывают отклонение плотности от постоянной на всей площадной фигуре и корректируют её соответствующим образом.

Таким образом, алгоритм анаморфирования можно описать следующим образом. На каждом шаге вычисляется векторная сумма влияний центров ячеек на вершины и центры многоугольных ячеек, составляющих визуальный образ, которые перемещаются в соответствии с полученными векторами сдвигов. Для полученной конфигурации вычисляются новые площади ячеек. Итерационный процесс прекращается, когда все относительные отклонения площадей ячеек становятся меньше заданной величины ε .

На основе приведённого выше алгоритма, созданного С.М. Гусейн-Заде и В.С. Тикунным [2], разработаны два варианта **модифицированного алгоритма анаморфирования** (МАО).

В первом варианте – (МАО-1) на этапе подготовки данных используется специальным образом сконструированная логистическая функция, позволяющая избежать нарушения целостности получаемого визуального образа. Подробное исследование особенностей работы алгоритма анаморфирования и конструирования различных функций нормировки исходной матрицы, построенной на основе выбранного показателя/показателей, приведено в [4]. Следует заметить, что в случае наличия у ДЛ ОУ времени (на подготовительном этапе моделирования решения по предупреждению и ликвидации ЧС) необходимо использовать МАО-1, так как он позволяет провести построение анаморфозы с любой заранее заданной степенью точности ε .

Во втором варианте – (МАО-2), наряду с логистической функцией, в расчётной части алгоритма используется обученная искусственная нейронная сеть (перцептрон) с одним скрытым слоем [5], позволяющая значительно сократить время его работы.

В случае работы ДЛ ОУ в реальном режиме времени следует использовать МАО-2. При несущественной потере точности построения преобразования ($\varepsilon \geq 0,1$, где ε – разница между теоретической и полученной на i -м шаге площадью s_i ячейки матрицы $1 \leq i \leq n \times m$ – размерность матрицы) МАО-2 на компьютере, с параметрами P3-700 MHz/DDR233-128 MB, строит анаморфозу матрицы размерностью 250×250 , в среднем, за 1-2 с.

Выбор и подробное исследование структуры искусственной нейронной сети, процесса её обучения (в том числе формирования обучающего, тестового и контрольного множеств примеров) и особенности работы в составе алгоритма анаморфирования приведены в [4].

Кроме этого, оба варианта алгоритма работают с произвольным количеством показателей (комплексным показателем) анаморфирования различной физической природы.

Все приведённые в статье анаморфозы рассчитаны с помощью МАО-1 при $\varepsilon \geq 0,005$ в табличном процессоре MS Excel 2010.

Подводя итоги, можно сказать, что в общем случае очевидными достоинствами анаморфозы ЭКМ являются:

- возможность визуального моделирования решения по предупреждению и ликвидации ЧС с учётом актуальных показателей различной физической природы;
- наглядность – выявление скрытых закономерностей изменений различных параметров, сложным образом зависящих от выбранного или комплексного показателя анаморфирования;
- быстрый визуальный анализ – анаморфирование исходной матрицы по любому допустимому значению выбранного показателя, позволяющее принимать решения с учётом действий подразделений в направлениях и областях с данным значением показателя;
- возможность построения сценариев действий по предупреждению и ликвидации ЧС на основе анализа динамической анаморфозы, учитывающей выполнение задач, связанных с быстрой эволюцией выбранного или комплексного показателя.

Так, например, достоинствами анаморфозы, построенной на основе проходимости местности, являются:

– наглядность – сочетание размеров ячеек с их возможной раскраской по заданным диапазонам скоростей, которая позволяет выявить возможные направления, полосы и маршруты эффективного движения подразделений по ликвидации ЧС;

– быстрый визуальный анализ – анаморфирование исходной матрицы скоростей по любой допустимой скорости позволяет принимать решения с учётом действий подразделений в направлениях и областях с этими скоростями движения;

– возможность построения сценариев действий подразделений на основе динамической анаморфозы, учитывающей выполнение задач по ликвидации ЧС, связанных с быстрым изменением проходимости рассматриваемой местности.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что метод анаморфирования является перспективным, позволяющим принимать решение и проводить визуальное моделирование решения при планировании задач по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций с учётом как отдельных, так и комплексных актуальных показателей в различных режимах времени при индивидуальной подготовке ДЛ ОУ всех уровней.

Литература

1. *Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С.* Создание анаморфированных изображений для географических исследований // Вестн. Моск. ун-та, сер. геогр., 1992, № 4. С. 43-52.
2. *Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С.* Анаморфозы: что это такое? М.: Эдиториал УРСС, 1999. С. 59-63.
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/морфинг>.
4. *Терехов В.И.* Методы вычислительного интеллекта, применяемые для решения задач инженерного и инженерно-технического обеспечения: Монография. М.: Изд-во "Общевойсковая академия ВС РФ", 2010. 253 с.
5. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. Пер. с англ. М.: Изд. дом "Вильямс", 2006. 1104 с.