

УДК 621.3

О.С. Бутенко

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## СЦЕНАРИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕХОДА РАЗЛИЧНЫХ АНОМАЛИЙ В ОДИН ИЗ ТИПОВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ КАТАСТРОФ

Предложен комплексный подход к анализу совокупности признаков, характерных для исследуемой аномалии для восстановления причинно-следственных связей ее возникновения. Предложен сценарий формирования дерева откликов при прогнозировании возможных линий поведения объекта (аномалии). Рассмотрен анализ возможного перехода аномалии в один из типов элементарных катастроф. Предлагается к рассмотрению механизм определения параметров бифуркационного множества. Произведены обобщение и адаптация методик прогнозирования распространения аномалий различного происхождения с анализом их возможного перехода к катастрофе при комплексировании качественных и количественных характеристик объекта с помощью алгебры нечеткой логики.

**Ключевые слова:** отклик, факторы влияния, объект, катастрофа, анализ, аномалия, вектор, параметры.

### Введение

После проведения операции дешифрирования изображений, в случае выявления на них различного рода аномалий, возникает необходимость решения двойной (прямой и обратной) задачи восстановления причинно-следственных связей и формирования значений возможных откликов, которые позволят предварительно определить дальнейшие направления развития выявленной аномалии, особенно это касается возможного перехода процесса ее распространения в один из типов элементарных катастроф.

Для этого, в первую очередь необходимо определить возмущающие факторы и силу воздействия, при которых этот переход становится возможным.

### 1. Постановка проблемы

Совершенно очевидно, что детерминированные составляющие признаков, характерных для выявленной аномалии, будут лишь усиливать процесс возможного развития ситуации, но значительных изменений поведения откликов не вызовут.

Построение прогноза при использовании характеристик только таких факторов особых трудностей не представляет, поскольку поведение каждого такого фактора легко предсказуемо и записывается в следующем виде

$$x_{n+1} = f(x_n),$$

где  $n$  – дискретное время [1, 2].

Особое внимание следует отнести случайным факторам и определению поведения объекта в зависимости от их воздействия, т.е. построить сценарий вероятного развития ситуаций (рис. 1).

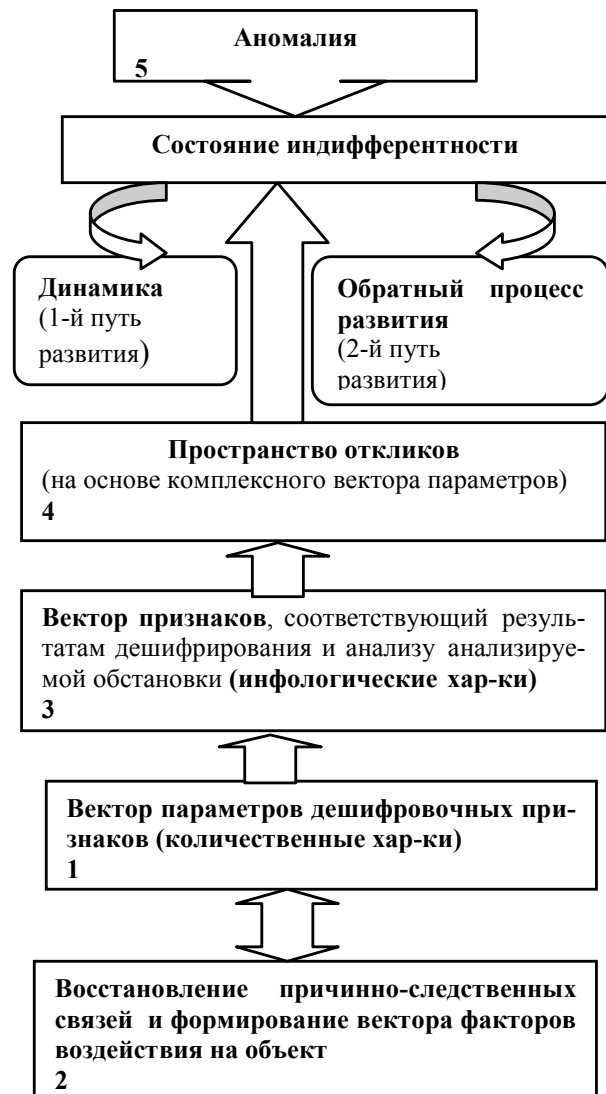


Рис. 1. Сценарий вероятного развития ситуаций

В общем виде процесс формирования возможных откликов выглядит следующим образом.

В соответствии с дешифровочными признаками (такими как яркость, интенсивность и пр.) формируется вектор переменных состояния (блок 2) или вектор факторов воздействия на объект, состоящих из количественных характеристик. В совокупности с данными контактными методами зондирования, которые, как правило, имеют инфологический характер, формируется блок 1, позволяющий оценить обстановку и восстановить причинно-следственные связи возникновения аномалии.

Для этого должны быть установлены степени влияния на аномалию каждого из факторов, степень их взаимного влияния друг на друга и совокупности комбинаторного влияния факторов непосредственно на объект. После расчета консеквента и установления факторов наибольшего влияния [2, 6, 9] формируется пространство признаков (блок 3), определяющих состояние объекта, т.е. каждому из дешифровочных признаков ставится в соответствие инфологическая характеристика, описывающая состояние изображенного на снимке объекта. Полученные характеристики, в свою очередь, формируют пространство откликов [3, 7].

Совершенно очевидно, что каждое воздействие вызывает только один отклик из множества возможных вариантов. Поэтому целесообразным является этап построения дерева откликов в виде иерархической структуры. Каждой вероятной линии поведения аномалии при воздействии возмущающих факторов присваивается некоторый весовой коэффициент, характеризующий степень тяжести вызванного последствия (блоки 4, 5).

В общем виде можно описать 3 основных состояния аномалии: 1 – состояние индифферентности (состояние покоя, характеризующееся отсутствием возмущающих воздействий). Это состояние является условным нулем на шкале; 2 – 1-я из возможных линий поведения, ведущая к изменениям аномалии (положительное направление на шкале); 3 – 2-я из возможных линий поведения, ведущая к изменениям аномалии (отрицательное направление на шкале). Состояниям 2 и 3 соответствуют конкретные характеристики, полученные на основе дешифровочных признаков и контактных методов (блок 3 рис. 1), определяющих линию поведения отклика, расставленных по шкале в соответствии с приоритетами возможных последствий от степени воздействия на объект (блок 4 на рис. 1).

Таким образом, ставится задача получения количественных оценок, характеризующих состояние аномалии в целом и разработки механизма формирования управляющих параметров, под воздействием которых возможен переход от аномалии к одному из типов элементарных катастроф.

## 2. Сценарий формирования откликов при прогнозировании возможных линий поведения объекта

Поставленная задача усложняется тем, что степень воздействия некоторых факторов, как правило, оценена приблизительно по усредненным статистическим характеристикам, и соответственно имеют интервальные оценки. Поэтому предварительно необходимо поставить в соответствие нечетким интервальным оценкам количественную шкалу (рис. 2). Это возможно с помощью процесса дефазификации для одноточечных множеств [5], полученных по каждому параметру значений факторов и их усредненных характеристик с помощью формулы

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)},$$

где  $n$  – число одноточечных нечетких множеств, каждое из которых характеризует единственное значение рассматриваемой выходной лингвистической переменной;  $\mu$  – функция принадлежности рассматриваемого одноточного множества.

Для измерения состояния аномалии по имеющимся в наличии количественным характеристикам, необходимо построить график измерения откликов. Для этого по оси абсцисс откладываются значения одного из факторов (в соответствии со шкалой на рис. 2), а по оси ординат – другого. На их пересечении получают количественную характеристику состояния объекта (рис. 3) [7].

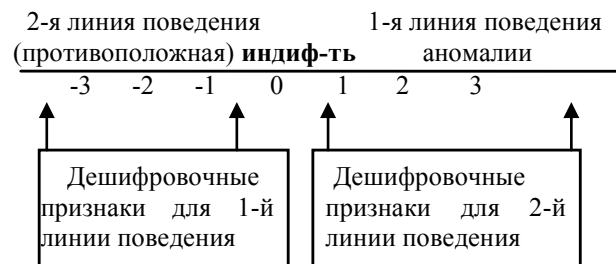


Рис. 2. График измерения откликов

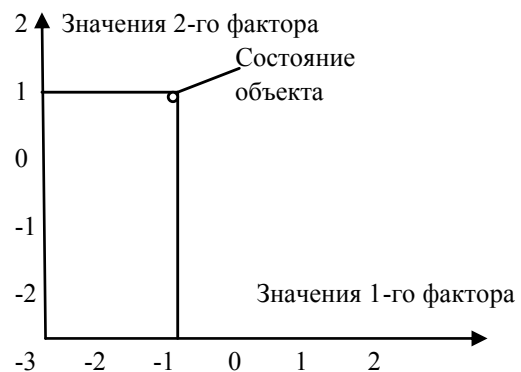


Рис. 3. Измерение значения отклика

Однако, для построения прогноза дальнейшего поведения аномалии и возможности ее перехода к одному из видов катастроф под воздействием управляющих параметров полученных коэффициентов недостаточно. Для этого необходим дополнительный, более детальный анализ степени влияния возмущающих факторов на объект по виду предварительно определенной функциональной зависимости, описывающей возможное воздействие каждого из рассматриваемых факторов на объект с дальнейшей ее аппроксимацией. Очевидно, что для каждой пары переменных состояния (факторов воздействия) существует распределение вероятностей поведения откликов (возможных состояний объекта).

Построим график распределения вероятностей возможных линий поведения откликов (рис. 4).

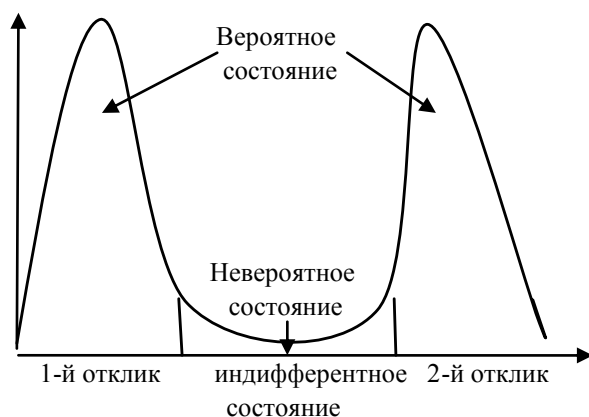


Рис. 4. График распределения вероятностей

В качестве значений по оси ординат рассматриваются возможные значения вероятностей различных состояний объекта (аномалии), по оси абсцисс – возможные отклики. Из рисунка видно, что возможны 3 основных состояния 2 вероятных, соответствующих 1-й и 2-й линиям поведения и невероятное – соответствующее индифферентному состоянию, характеризующимся высокой степенью неустойчивости состояния. В реальных условиях это состояние имеет вероятность, практически равную 0.

Совершенно очевидно, что для перехода аномалии к одному из типов элементарных катастроф необходимо дополнительное внешнее воздействие, которое способно перевести процесс распространения аномалии из зоны действия одного аттрактора в зону действия другого.

### 3. Механизм определения параметров бифуркационного множества

Процесс распространения аномалии рассматривается с точки зрения универсальности и скейлинга (масштабного подобия). То есть учитывается то свойство, что различные множества нелинейных систем различной природы, но принадлежащие к одному классу, не просто демонстрируют одну и ту

же последовательность бифуркаций, но и при переходе к катастрофам (в данном случае при переходе из бассейна одного аттрактора в бассейн другого (одного состояния в другое)) проявляют одни и те же количественные закономерности скейлинга с определенным для данного класса значением масштабных констант (метод реном-группы) [8].

Параметры возможных управляющих воздействий формируют бифуркационное множество [7]. При этом для определения границ перехода из одной зоны в другую необходимо предварительно оценить силу воздействия каждого параметра управления для преодоления барьера точки (линии) бифуркации рис. 5.

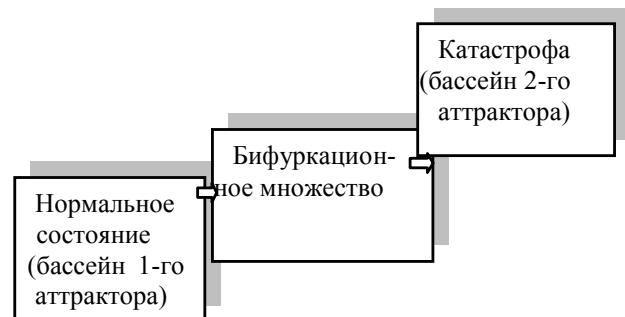


Рис. 5. Схема оценки силы воздействия

Функция принадлежности каждой из зон графически изображены на рис. 6.

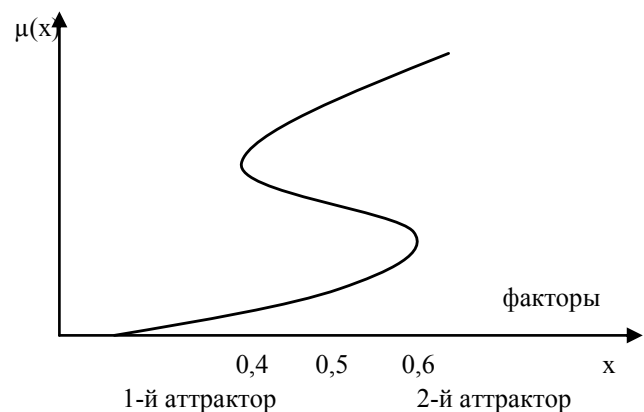


Рис. 6. Функция принадлежности

По оси абсцисс рассмотрены значения весовых коэффициентов, соответствующих степени влияния анализируемых факторов на объект. Однако, из рисунка видно, что имеет место явление бистабильности, когда при одних и тех же параметрах в зависимости от начальных условий процесс может реализовываться в двух аттракторах.

Поскольку речь идет о распределении плотностей вероятности, то важна сама форма кривой, а не величина ее пиков.

Рассматривая не две, а большее количество переменных, можно весь процесс построить в виде

поверхности «сборки» (наиболее вероятному состоянию объекта), представляющей стохастический процесс (рис. 7). Следует заметить, что состояние системы при воздействии рассматриваемых возмущающих факторов не всегда находится на поверхности, иногда оно находится в окрестностях этой поверхности при максимальной плотности вероятности.

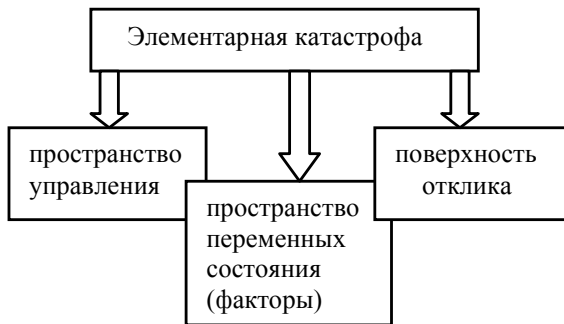


Рис. 7. Схема процесса

Из анализа рисунка видно, что кроме поверхности откликов и пространства переменных состояния необходимо при построении прогноза дальнейшего изменения аномалии рассмотреть пространство управляющих параметров и бифуркационное множество, располагающееся под складкой и представляющее собой множество значений в пространстве управления, при которых число возможных откликов меняется, и соответственно может измениться ход предсказуемого поведения объекта, т.е. появляется возможность внезапных изменений откликов по правилу запаздывания (рис. 8) [7].

**Пр-во переменных состояния**

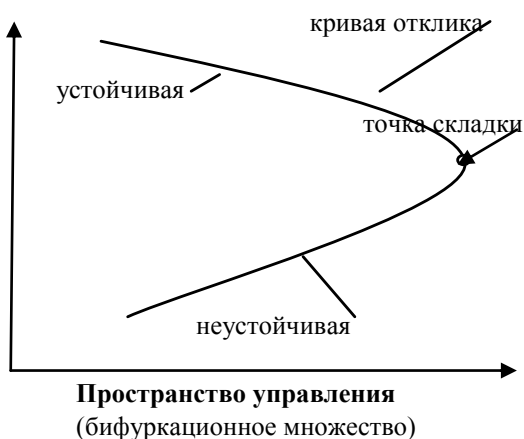


Рис. 8. Схема связи пространства управления и пространства переменных состояния

Наличие такой структуры в виде пространства управления, пространства факторов влияния (переменных состояния) и поверхности откликов дает основание для отнесения анализируемого процесса к

элементарной катастрофе (если только множество откликов на пространство управления не пустое).

Однако при анализе возможного перехода изучаемой аномалии в один из типов элементарных катастроф необходимо провести метод исторической аналогии, который на данном этапе будет заключаться в следующем. Согласно центральной теореме теории катастроф о том, что «для 4-х и менее управляющих параметров и любого числа переменных состояния существует только 7 видов элементарных катастроф» в базе данных на этапе формирования геоинформационной системы должны в виде инфологической структуры быть описаны модели, соответствующие всем возможным элементарным катастрофам, а именно, все характерные им признаки. Под признаками в данном случае подразумеваются пространства управляющих параметров и диапазон силы их воздействия для преодоления бассейна одного аттрактора при переходе в бассейн другого.

Таким образом, с помощью метода исторической аналогии решается обратная задача – по имеющимся в наличии характеристикам аномалии рассматривается близость к характеристикам управляющих параметров для каждой из моделей видов катастроф и выбирается наиболее близкая к ней по совокупности параметров.

Для определения степени близости предлагается использовать механизм алгебры «критериальных деревьев». Для этого после предварительного анализа на степень близости, который может быть проведен одним из известных методов (нейросети, генетические алгоритмы, семантические сети и пр.), инфологические модели должны быть автоматически переформированы в иерархические – в виде деревьев признаков согласно приоритетам, расставленным по очередности и силе их воздействия. Затем с деревом признаков аномалии и деревом признаков катастрофы (выбранной после первичного анализа) выполняются операции алгебры «критериальных деревьев» в соответствии с основными положениями теории катастроф. В качестве оценки близости рекомендуется использовать или корреляционный анализ или показатель Херста.

Проанализировав все виды катастроф, и учитывая рассмотренные выше аргументы, был сделан вывод о том, что наиболее часто используется тип естественной фундаментальной катастрофы – «сборка», в котором пространство переменных состояния одномерно, а пространство управления – двумерно, следовательно, бифуркационное множество представляет собой сборку. Однако предлагаемый механизм может быть распространен и на другие виды катастроф, что и необходимо учесть при построении геоинформационных систем, связанных с прогнозированием распространения аномалий.

## Заклучение

В статье был предложен механизм определения возможной линии направления развития выявленной аномалии на основе дешифровочных признаков, полученных по изображению и данных контактных методов зондирования. Предложена методика анализа возможного перехода процесса ее распространения в один из типов элементарных катастроф.

В результате проведенных исследований были сделаны выводы о том, что постепенное движение в сторону бассейна другого аттрактора сразу же приводит к ухудшению (зона индифферентности) и возникает явление неопределенности (дополнительно имеет место явление бистабильности); по мере приближения к зоне индифферентности процесс становится независим от начальных значений возмущающих факторов: для определения силы действия управляющих параметров необходимо дополнительно учитывать вероятности возникновения ситуаций «джокер» и «русло» [1, 4].

## Список литературы

1. Малинецкий Г.Г. Сценарии, стратегические риски, информационные технологии / Г.Г. Малинецкий. – М.: Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, 2002. – 124с.
2. Нестационарные структуры и диффузионный хаос / Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1992. – 544 с.
3. Дмитриев А.С. Прикладной динамический хаос / А.С. Дмитриев. – Ярославль: ЯрГУ, 1999. – 102 с.

4. Малинецкий Г.Г. Новое в синергетике. Взгляд в третье тысячелетие / Г.Г. Малинецкий, С.П. Курдюмов. – М.: Наука, 2002. – 124 с.

5. Соколов А.Ю. Применение нечетких множеств в экспертных системах и системах управления: учеб. пособие / А.Ю. Соколов. – Х.: Гос. Аэрокосмический ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 1999. – 64 с.

6. Бутенко О.С. Анализ данных космического мониторинга при прогнозировании распространения выявленных аномалий / О.С. Бутенко, С.И. Березина, Г.Я. Красовский // Экологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – К., М-во освіти і науки України, 2009. – Вип. 2. – С. 23-41.

7. Иен Стюарт. Тайна катастроф / И. Стюарт. – М.: Мир, 1987. – 76 с.

8. Скворцов А.А. Поиск оптимальной разметки вершин помеченных графов в задаче классификации структурных объектов / А.А. Скворцов, М.И. Кумсков // Доклады 9-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов». – М., 1999. – С. 105-108.

9. Бутенко О.С. Механизм построения кратковременного прогноза по априорным данным / О.С. Бутенко // Системи управління, навігації та зв'язку: Зб. наук. праць. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2008. – Вип. 3(7). – С. 37-40.

Поступила в редколлегию 1.09.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Я. Красовский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## СЦЕНАРІЙ ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРУ КЕРУЮЧИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ АНАЛІЗІ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ РІЗНИХ АНОМАЛІЙ В ОДИН З ТИПІВ ЕЛЕМЕНТАРНИХ КАТАСТРОФ

О.С. Бутенко

Запропоновано комплексний підхід до аналізу сукупності ознак, характерних для досліджуваної аномалії при відновленні причинно-наслідкових зв'язків її виникнення. Запропоновано сценарій формування дерева відгуків для подальшого прогнозуванні можливих ліній поведінки об'єкта (аномалії). Розглянуто аналіз можливого переходу аномалії в один з типів елементарних катастроф. Пропонується до розгляду механізм визначення параметрів біфуркаційного безлічі. Зроблено узагальнення й адаптація методик прогнозування поширення аномалій різного походження з аналізом їхнього можливого переходу до катастрофи при комплексуванні якісних і кількісних характеристик об'єкта за допомогою алгебри нечіткої логіки.

**Ключові слова:** відгук, фактори впливу, об'єкт, катастрофа, аналіз, аномалія, вектор, параметри.

## THE FORMATION SCENARIO FOR A SPACE FOR CONTROLLING PARAMETERS DURING ANALYSIS OF POSSIBILITY OF VARIOUS ANOMALIES TRANSITION INTO ONE OF THE ELEMENTARY ACCIDENTS TYPES

O.S. Butenko

The complex approach to the analysis of signs set, characteristic for investigated anomaly for cause relationships restoration and effect of its occurrence is offered. The formation scenario of the responses tree is offered at forecasting of possible object (anomaly) conduction ways. The analysis of possible anomaly transition into one of the elementary accidents types is considered. The definition mechanism of bifurcation sets parameters is offered to consideration. Generalization and adaptation of techniques of anomalies distribution forecasting of a various origin with the analysis of their possible transition to accident are made while complexing qualitative and quantitative characteristics of object by means of indistinct logic algebra.

**Keywords:** response, influence factors, object, accident, the analysis, anomaly, vector, parameters.