УДК 517

ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ: ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЕ

Бурцева А.Д., Воронов М.П.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: mstrk@yandex.ru

В статье рассмотрено развитие теории катастроф с момента зарождения до ее современного состояния. Анализируются различные подходы к изучению теории катастроф, рассматриваются области ее применения – в физике, биологии, экологии, медицине, психологии, механике конструкций, машиностроении, эмбриологии, лингвистике, экономике, гидродинамике, геологии, а также для прогнозирования социальных кризисов, прогнозирования будущего на основе прошлых событий в истории. В статье рассматриваются как зарубежные (Poincaré, Gilmore, Hardy, Арнольд, Wimmers, Savelsbergh, Kamp, Hartelman, Piyaratne, Zhao, Inhua, Yao, Zengkun, Minyanu другие), так и русскоязычные авторы (Ляпунов, Грушевицкая, Садохин, Киселёв, Алексеев, Чуличков, Острейковский, Михайлов, Давлетшина, Гавриков, Хлебопрос, Коваленко, Уртенов, Трахова, Бурханов и другие). Анализируются подходы «общая теория бифуркаций», «математическая теория катастроф», «теория катастроф в природе».

Ключевые слова: теория катастроф, бифуркация, научный обзор

CATASTROPHE THEORY: APPROACHES TO RESEARCH AND APPLICATION

Burtseva A.D., Voronov M.P.

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, e-mail: mstrk@yandex.ru

Within the article the development of catastrophe theory since its inception to its present state is considered. Different approaches to the study of the theory of catastrophes and the areas of its application are analyzed – in physics, biology, ecology, medicine, psychology, mechanics, construction, engineering, embryology, linguistics, economics, hydrodynamics, geology, as well as for forecasting social crisis, predicting the future based on past events in history. There are foreign (Poincaré, Gilmore, Hardy, Arnold, Wimmers, Savelsbergh, Kamp, Hartelman, Piyaratne, Zhao, Xinhua, Yao, Zengkun, Minyan and others), as well as Russian-speaking authors (Lyapunov, Grushevitskaya, Sadokhin, Kiselev, Alekseev, Chulichkov, Ostreykovsky,Mikhailov, Davletshina, Gavrikov,Khlebopros,Kovalenko, Urtenov, Trahova, Burhanov and others) considered within the article. Such approaches as «general theory of bifurcations», «mathematical catastrophe theory», «theory of catastrophes in nature» are analyzed.

Keywords: catastrophe theory, bifurcation, scientific review

С самых первых дней человек неразрывно связан с различными средами, которые постоянно с ним взаимодействуют, и посвоему влияют не только на него, но и на среду его обитания и образ жизни. Человек и среда, образуют некую систему из множества элементов, обладающих специфическими свойствами. Эта взаимосвязь порождает множество факторов, влияющих как на человека, так и на среду его обитания. Влияние может иметь как положительные, так и негативные последствия для обеих сторон.

С одной стороны, негативные последствия проявляются в виде стихийных бедствий (ураганы, цунами, извержение вулканов), с другой – производственная деятельность человека (аварии на заводах). Для прогнозирования таких событий и уменьшения последствий после начали применять программу изучающую неустойчивость различных систем – теорию катастроф. Теории катастроф основана на принципах математички, однако эта теория не является частью самой математики, так как использует не только расчеты, но и использует осмысление сущностных характеристик реальности. В программа теории использует разработки математических моделей, оценивающих не только стабильность форм, но и их появление, развитие и исчезновение. Теория катастроф универсальна тем, что ее форму можно применять практически к любой системе или среде. Она ориентирована на понимание реальности: раскрывает динамические ситуации, управляющие эволюцией естественных явлений, человека и общества.

Начиная с XVIII ст. и по настоящее время многие авторы изучали и изучают теорию катастроф и ее применение к различным сферам деятельности и жизни человека (Newton, 1686; Euler, 1744; Lagrange, 1788; Poincaré, 1881;Ляпунов, 1892; Андронов, Понтрягин, 1937; Koyter, 1945; Whitney, 1955; Chilver, 1958; Smale, 1958; Dixon, 1975; Rand, 1976; Голицын, 1976; Zeeman, 1977; Balasko, 1978; Ruelle, 1978; Flay, 1978; Richard, Davis, 1978; Saunders, Timothy, 1980; Poston, Stewart, 1980; Hunt, 1982; Thompson, Michael, 1982; Stewart,

1987;Fazey, Hardy, 1988; Gilmore, 1988; Thom, René, 1989; Hardy, 1990; Арнольд 1990; Lorenz, 1993; Wimmers, Savelsbergh, Kamp, Hartelman, 1998; Грушевицкая, Садохин, 1998; Киселёв, 1999; Алексеев, Сухоруков, 2000; Чуличков, 2001; Острейковский, 2005; Найман, 2006; Володченкова, Гуц, 2009; Михайлов, 2009; Давлетшина, 2009; Гавриков, Хлебопрос, 2010; Коваленко, Уртенов, Трахова, 2010; Назаров, 2010; Бурханов, 2011; Усатова, 2012; Piyaratne, Zhao, 2013; Huang, Liu, Zhou, 2014; Бондарев, 2015; Xinhua, Yao,Zengkun, Minyan, 2016 и другие).

Первооткрывателем теории катастроф можно считать Исаака Ньютона. В 1686 году он провел экспериментальное исследование движений маятника в воздухе и воде («Математические начала натуральной философии»). Затухающие колебания маятника представляют наиболее типичный пример асимптотически устойчивой системы (Исаак Ньютон, 1989).

Следующим шагом в развитии теории катастроф были работы математика в 1744 году Леонарда Эйлера по теории устойчивости механических систем (L.Euler, 1744). В своих работах он решил задачу устойчивости состояния равновесия механической системы, применил созданное им вариационное исчисление для рассмотрения сжатой упругой колонны (эластика Эйлера). Существенный вклад в механику принадлежит Уильяму Гамильтону, представивший свои труды по консервативной (гамильтоновой) динамической системе.

Первооткрывателем теории катастроф можно считать Исаака Ньютона. В 1686 году он провел экспериментальное исследование движений маятника в воздухе и воде («Математические начала натуральной философии»). Затухающие колебания маятника представляют наиболее типичный пример асимптотически устойчивой системы.

В 50-е годы в свет выходит статья, в которой объединяются два абстрактные раздела. Первый – математический, включающий в себя алгебраическую и дифференциальную геометрию, теорию групп, порожденных отражениями, теорию комплексных пространств, коммутативную алгебру. И второй – прикладной, которому относятся такие разделы как алгебраическую и дифференциальную геометрию, теорию групп, порожденных отражениями, теорию комплексных пространств, коммутативную алгебру. Название этой статьи «Об отображениях плоскости на плоскость», а автор американский математик Хасслер Уитни.

В 80-е гг. происходит скачок в развитии теории катастроф. Публикуется множество различных работ по ее изучению и применению к различным системам. Примером могут служить работы таких авторов как А.В. Гапонова-Грехова и М.И. Рабиновича «Нелинейные волны. Структуры и бифуркации» (Гапонов-Грехов,1987) , «Нелинейные волны. Динамика и эволюция»; Г. Заславский и Р. Сагдеев «Введение в нелинейную физику. От маятника до турбулентности и хаоса» (Заславский, Сагдеев, 1998); Р. Гилмор «Прикладная теория катастроф» (Гилмор, 1988).

Изучению и применению теории катастроф посвящено множество научных работ и статей, изучением теории катастроф занимались и занимаются до сих пор. Теория катастроф не обособлена, она имеет пересечение и с другими теориями, например, с теорией колебаний и волн, с теорией динамических систем, а так же свое применение она нашла в других науках: экономике, физике, биологии, экологии, психологии.

Математическую теорию катастроф применяют в различных областях, не только в прикладной математике, физике, так же ее применяют и к экономическим системам. Часто термин теория катастроф применяют без приставки слова «математическая». В таких случаях может произойти путаница, ведь термин «теория катастроф», в таком случае, принимает разные значения.

В основе теории катастроф лежит анализ критических точек потенциальной функции. При таком подходе не только первая производная функции равна нулю, но и производные более высокого порядка также равны нулю. К изучению динамики развития данных точек можно применить разложение потенциальной функции в рядах Тейлора посредством малых изменений входных параметров. Далее все зависит от поведения точек роста. В первом случае, если точки формируют структурную область стабильности, то они являются организующими центрами для особых геометрических структур с низким уровнем катастрофичности и с высоким уровнем катастрофичности в окружающих их областях фазового пространства. Во втором же случае, если в потенциальной функции наблюдается зависимость от трех или менее активных переменных, и пяти или менее активных параметров, то в этом случае применяется семь обобщённых структур описанных геометрий бифуркаций, к которым можно применить стандартные формы разложений в ряды Тейлора, в которые можно разложить критические точки при помощи гладкой трансформации, обращение которой также гладко. К этим типам катастроф применяют классификацию, которую предложил Рене Том (таблица).

Классификация элементарных катастроф, предложенная Рене Томом

Тип катастрофы	Формула
Свертка (складка)	V = x3 + ax
С точкой возврата	V = x4 + ax2 + bx
«Ласточкин хвост»	V = x5 + ax3 + bx2 + cx
«Бабочка»	V = x6 + ax4 + bx3 + cx2 + dx
Гиперболическая омбилика	V = x3 + y3 + axy + bx + cy
Эллиптическая омбилика	V = x3/3−xy2 + a(x2 + y2) + bx + cy
Параболическая омбилика	V = x2y + y4 + ax2 + by2 + cx + dy

Взяв за основу теорию математических групп Ли, Арнольд В.И. разработал свою классификацию катастроф:

- A_0 – несингулярная точка;
- A_1 – локальный экстремум: устойчивый минимум или неустойчивый максимум;
- A_2 – складка;
- A_3 – сборка;
- A_4 – ласточкин хвост;
- A_5 – бабочка;
- A_k – бесконечная последовательность форм от одной переменной;
- D_4^+ – кошелёк = гиперболическая омбилика;
- D_4^- – пирамида = эллиптическая омбилика;
- D_5 – параболическая омбилика;
- D_k – бесконечная последовательность других омбилик;
- E_6 – символическая омбилика;
- E_7;
- E_8

Почти все экологические системы обладают четырьмя основными свойствами. Благодаря этим свойствам, применяя математическую топологию, можно применять теорию катастроф к данным системам. Определение основным свойствам систем описали в пособии «Системная экология» Бимодальность – для системы характерно одно из двух (или более) состояний, а свойство разрывности предполагает, что между этими двумя состояниями оказывается сравнительно мало индивидов или наблюдений (Дулепов и др., 2004).

- «Бимодальность – для системы характерно одно из двух (или более) состояний, а свойство разрывности предполагает, что между этими двумя состояниями оказывается сравнительно мало индивидов или наблюдений.
- Разрывность – малые изменения какой-либо переменной, в том числе времени, вызывают большие изменения в поведении или состоянии.
- Гистерезис – система обладает четко выраженной замедленной реакцией на некое воздействие, причем эта реакция идет по одному пути, когда воздействие возрастает, и по другому, когда оно убывает.
- Дивергенция – близкие начальные условия эволюционируют к значительно удаленным друг от друга конечным состояниям».

В 1970 г. впервые начали применять модели, основанные применении теории катастроф к различным системам. Они привлекали стойкостью и наглядностью в изображении. Но уже в то время вызвало затруднение применение теории катастроф к ситуациям, где используется большое количество измерений. Примером может служить многообразие параметров при оценке экологических данных.

Простейший из 7 типов катастроф по классификации Рене Тома представлен на рис. 1, на котором изображен тип катастрофы, который известен как складка.

Описание типа катастрофы складка, было представлено в пособии «Системная экология». Можно взять за основу то, что система берет свое начало в точке А на нижней ветви складчатого многообразия. С ростом переменной p переменная x тоже возрастает, так что система переходит через точку В и достигает точки C. В данной точке переменная p пересекает особенность S_1, и система совершает «катастрофический» скачок на верхнюю ветвь многообразия в точку C'. Дальнейшее возрастание переменной p уводит систему далее за точку D. Если же переменная p начинает убывать, то система продолжает следовать вдоль верхней ветви многообразия через точку E к точке F. В этой точке переменная p пересекает особенность S_2, и система совершает «катастрофический» возврат на нижнюю ветвь многообразия в точку F', после чего дальнейшие изменения переменной p ведут систему либо к точке A, либо к точке B до тех пор, пока она вновь не пересечет особенность S_1 (Дулепов и др., 2004).

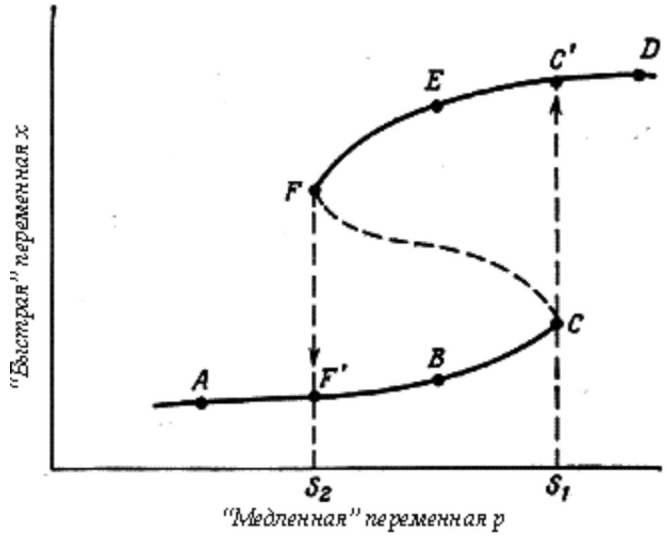

Рис. 1. Изображение катастрофы «складка» (Источник – Дулепов В.И., 2004)

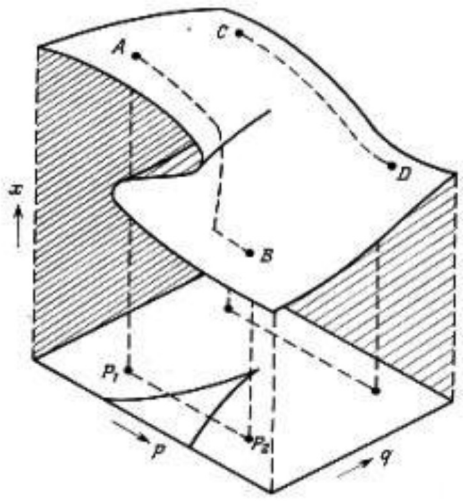

Рис. 2. Изображение катастрофы «сборка» (Источник – Дулепов В.И., 2004)

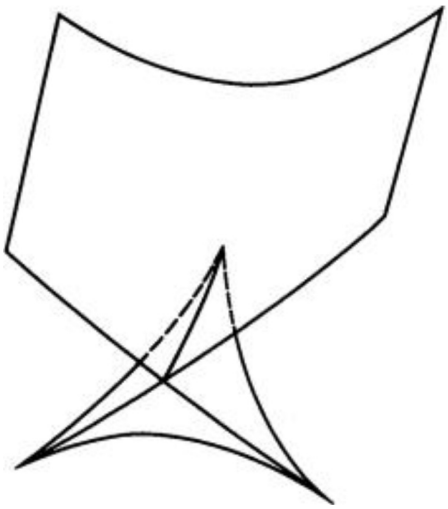

Рис. 3. Изображение катастрофы «Ласточкин хвост» (Источник – Бекман И.Н., 2015)

Тип катастроф – *сборка* – представлен на рис. 2. Допустим, что данная система описывается переменной *x*, которая зависит от двух переменных *p* и *q*. Благодаря наличию складки на поверхности, изображающей эту зависимость, поведение системы варьирует в соответствии со значениями *p* и *q* (Дулепов и др., 2004).

Тип катастрофы типа «Ласточкин хвост» представлен на рис. 3. Пространство для изображения данного типа катастрофы является трехмерным. Данный тип катастрофы состоит из трех разделенных поверхностей типа «свёртки», которые соединяются на двух кривых бифуркаций с точками возврата, которые в свою очередь сходятся в одной точке.

Катастрофа типа «Бабочка» представлена на рис. 4. Как и в предыдущем случае, для изображения данной катастрофы применяют трехмерное пространство. В данном типе катастрофы потенциальная функция может иметь от оного до трех локольных минимумов, при этом они разделены областями с разетвлениями, которые имеют тип «свертка». В точке, которую именуют «бабочка» встречаются три трехмерные плоскости бифуркаций типа «свёртка», две поверхности бифуркаций с точками возврата и кривая бифуркаций типа «ласточ-

кин хвост». Все эти бифуркации пропадают в одной точке и преобразуются в простую структуру с точкой возврата тогда, когда значение параметра *a* становится положительным.

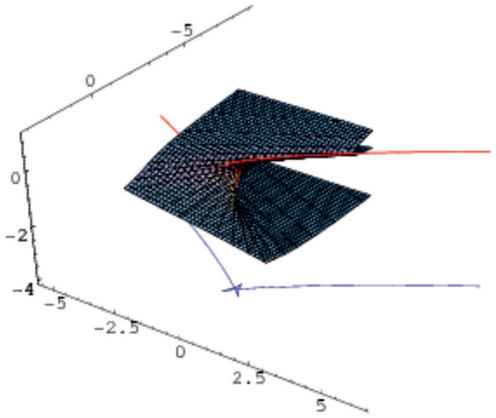

Рис. 4. Изображение катастрофы «Бабочка» (Источник – Бекман И.Н., 2015)

Так же существуют потенциальные функции с двумя активными переменными, так называемые омбилические катастрофы. Они являются примерами катастроф второго порядка. Омбилические катастрофы применяют в оптике при наблюдении отражения света от трёхмерных поверхностей. Катастрофы, имеющие в функции две активных переменных, связаны с геометрией почти сферических поверхностей. Рене Том предложил рассматривать гиперболическую омбилическую катастрофу (рис. 5) как разрушение волны, а эллиптическую омбилическую катастрофу (рис. 6) – как процесс создания структур, похожих на волосяной покров.

Другой подход, именуемый теория катастроф в природе, разработал Жорж Кювье. Этот подход был предложен до математического и за основу в своих исследованиях Кювье взял историю планеты Земля, ее флору и фауну. Согласно его теории причиной вымирания были периодически происходившие крупные геологические катастрофы, уничтожавшие на больших территориях животных и растительности. Затем, опустевшие территории заселялись видами, проникавшими из соседних областей.

Но его теория тоже не осталась на месте, и его ученики и последователи, внесли свой вклад в развитие теории Кювье. Они не остановились только на территориальных катастрофах, а выдвинули свою теорию, о том, что катастрофы охватывали весь земной шар сразу. После каждой такой катастрофы следовал божественный акт творения, который изменял полностью всю земную поверхность с его обитателями. По их предположениям таких катастроф за все время существования Земли насчитывается 27.

В определенных ситуациях прогнозирование будущего, незначительных движений, которые могут повлиять на ход развития, очень важно. Умение определить, на какой стадии и как далеко система находится от точки катастрофы. Конечно, именно для этого строят математические модели, в которых изучают зависимость системы от внешних факторов, но нередко на практике встречаются случаи, когда у исследователей нет точных предположений, какое эволюционное уравнение подойдет для описания развития системы. Но, даже не смотря на это, фактически, можно предугадать некоторые косвенные признаки того, что изучаемая система приближается к точке катастрофы.

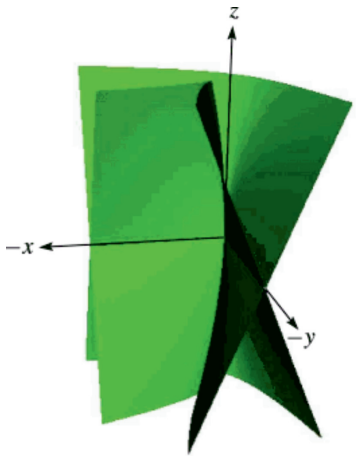

Рис. 5. Гиперболическая омбилика (Источник – Бекман И.Н., 2015)

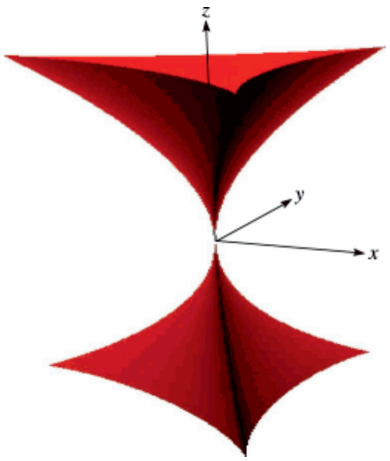

Рис. 6. Гиперболическая омбилика (Источник – Бекман И.Н., 2015)

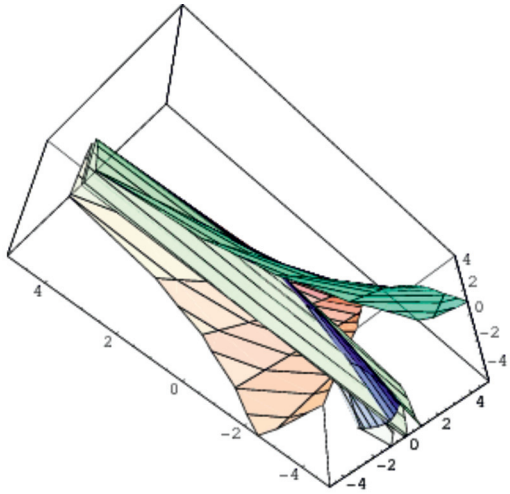

Рис. 7. Параболическая омбилика (Источник – Бекман И.Н., 2015)

В своей монографии Чуличков упоминает о так называемых «флагах катастроф», другими словами об особенностях поведения системы, по которым можно судить о приближении критической точки. Всего он выделил пять таких «флагов» (Чуличков, 2014).

1. Бимодальность. Кардинальная смена «старого» на «новое», от старой системы не остается ничего, новая ее заменяет полностью.

2. Пороговость (скачкообразность). Резкое, скачкообразное изменение в системе при плавном изменении ее параметров происходит в момент достижения параметрами некоторых критических значений.

3. Нарушение симметрии. До прохождения точки катастрофы системе имела симметрию в отношении выбора будущих альтернатив, и равноправие. В точке катастрофы выбор происходит в пользу одной и: альтернатив и симметрия возможностей, равноправие нарушается.

4 Дивергенция (неустойчивость по начальным данным). Малое изменение состояния системы перед точкой катастрофы может радикально повлиять на выбор альтернативы. То, что было рядом до катастрофы, окажется разделенным после нее.

5. Гистерезис. Память системы о произошедшей катастрофе, необратимость ее истории. Результат остается даже при исчезновении причины.

Выделяют два неопровержимых признака того, что катастрофа неминуема для системы. Они позволяют предсказывать катастрофу в непосредственной близости от нее. Эти признаки всегда прослеживаются в моделях катастроф.

Первый – это увеличение шумовых колебаний. Этот признак можно наблюдать незадолго до точки катастрофы, он ярко проявляется в самой пике катастрофы и быстро исчезает после. Фактически он обнаруживает жизнь микроуровня, которая выходит на поверхность и становится значимой в период кризиса системы. При этом исчезающие макропеременные ведут себя все более хаотично и погибают. На языке микроуровня это называют увеличением амплитуды колебаний, т.е. величиной кратковременных отклонений от среднего значения, которые мы и наблюдаем как случайные колебания в системе, а точнее шум перед и во время катастрофы.

Второй – замедление характерных ритмов. В отличие от шумовых колебаний, замедление характеристики ритмов позволяющие заранее предсказать катастрофу. Принцип этого признака довольно простой: перед точкой катастрофы, точкой смены программы функционирования системы, происходит остановка этой программы. Если колебания присутствуют, то они должны замедляться, если колебаний нет, то их можно искусственно возбудить и наблюдать замедление. В точке катастрофы система уходит от состояния равновесия, становится более гибкой, менее упругой, ее собственные колебания становятся более мягкими, медленными, низкочастотными.

Результат может быть непредсказуемым, он не зависит от природы системы. По мере приближения к точке катастрофы, ритмы, характерные системе, замедляются. По степени замедления, применяя теорию катастроф, можно предугадать тип будущей катастрофы, ее альтернативны последствия, опираясь на серьезные математические расчеты.

Теория катастроф состоит из сложных математических расчетов, ее главная цель: понять изменение и прерывность в системах, то есть поведение системы. Если система не подвергается каким-либо изменениям, то ее состояние будет стабильным. Но если она подвергается изменениям, то в ней начнут происходить реакции, которые будут пытаться привести систему к стабильному состоянию. Но если изменения слишком сильны, и системе не хватает сил стабилизироваться, то происходит катастрофическое (глобальное) изменение и система принимает новое устойчивое состояние.

Таким образом, модели теории катастроф используют для понимания и предсказывания поведения систем.

Теория катастроф является универсальным методом для исследования скачкообразных переходов, разрывов, внезапных

качественных изменений. Существуют множество различные публикации, в которых теорию катастроф применяют к исследованиям биения сердца, в геометрической и физической оптике, эмбриологии, лингвистике, психологии, экономике, гидродинамике, геологии и теории элементарных частиц. Среди опубликованных работ по теории катастроф есть исследования устойчивости кораблей, моделирования деятельности мозга и психических расстройств, восстаний заключенных в тюрьмах, поведения биржевых игроков, влияния алкоголя на водителей транспортных средств.

Одним из первых, кто применил теорию катастроф в экономике, для оценки аварии на фондовых рынках был Zeeman (Zeeman, 1974). Но основу для применения в экономике заложил Debre (Debre, 1970). В дальнейшем проводили анализ применения теории катастроф к монополии (Bonnano, 1987), бизнес-циклами (Varian, 1979). Применением теории катастроф в экономических системах занимаются Асаул М.А., Бушуева А.Б., Нагаева, Неделько Н.С. и другие ученые. Их работы связаны с применением принципов теории катастроф для предотвращения потери устойчивости организации при возникновении кризисов (Асаул, 2008). J. Barkley Rosser Jrв своей статье подробно описывает целесообразность применения теории катастроф для всех отраслей экономики.

Широкое применение теории катастроф в физике встречается в термодинамике, лазерной физике, оптике, геометрии жидкости. Все это описано в монографии Постона и Стюарта «Теория катастроф и ее приложения» (Постон, Стюарт, 1980), Михайлов «Физическая теория катастроф» (Михайлов, 2009) и в книге «Catastrophe Theory» Роберта Гилмора (Гилмор, 1988).

Так же широкое применение теория катастроф получила в биологии и экологии. Основоположником стал Кювье, он предложил учение о периодической гибели органического мира вследствие катастрофических событий планетарного масштаба, во время которых происходит перестройка геологии Земли, в результате появляются новые неизменяемые виды и роды живых организмов, не связанные с погибшими формами. В 1864 году была выдвинута теория о неокатастрофизме Э. Зюссом, он эволюционировал теорию Кювье. В дальнейшем была разработана теория сальтоционизма (Хуго де Фриз, 1901). Теорию катастроф применяли в биологии для прогнозирования роста скачка популяции насекомых (Jones, 1975), (Ludvig, 1978), (Jeffrey A.,2008), болезни деревьев и цветение водорослей (Джефферс, 1978, Бельтрами, 1989). Так же теорию катастроф использовали для понимания альтернативных стабильных состояний в экосистемах (Scheffer, Jeppeson, 1998).

Но так же, с помощью теории катастроф описывают и экологические проблемы окружающей среды: распространение загрязненности, эволюцию экосистем, оценки развития экосистем и комплексов (Dixon D Jones, 1975; SvenErikJørgensen, 2002; Гуц, Володченкова, 2009; Бондарев, 2015). А так же влияние экологии на здоровье человека (Гуц, Володченкова, 2009; Острейковский, 2013).

Развитие двигательного аппарата у младенцев, так же изучали при помощи теории катастроф модели типа сборка (R.H. Wimmers; G.J.P. Savelsbergh; J. van der Kamp; P. Hartelman, 1998).

В наше время теорию катастроф не обошла и такая наука как психология. Как и в других областях применения теории катастроф одним из первых ее применил к изучению Zeeman (Zeeman, 1976) На основе исследований Лоренца, он проводил исследования в поведении заключенных в тюрьме. Так же теорию катастроф применили в психологии и социологии (Woodcock, Davis, 1978; Flay 1977; Hardy,1990; Гавриков, Хлебопрос, 2010; Hu, Xia, 2015; Файдыш, Рязанов, 2007).

Fazey и Hardy, Hardy и Parfitt применили модель теории катастроф типа сборка в исследованиях для спортивных результатов (отношение между тревогой, возбуждением и производительностью у спортсменов) (Fazey, Hardy, 1988; Hardy, Parfitt,1991).

Опираясь на статьи по психологии, в теории катастроф появилась отдельная ветвь – прогнозирование социальных кризисов. Совокупность социальных процессов в обществе, скачкообразных изменений, происходящих в обществе и определяющих устойчивость развития государства или его деградацию. (Мощенко, 2010; Паутова, Гуц, 2014).

Теория катастроф применяется и в механике конструкций. Изучение поведения конструкций под нагрузкой и их чувствительность для строительства изучали Эйлер, Лагранж, Wimmers, Savelsbergh, Kamp; Hartelman, Назаров (Эйлер,1744; Лагранж,1788; Wimmers, Savelsbergh, Kamp; Hartelman, 1998; Назаров, 2010).

При постройке хранилищ опасных веществ, при постройке заводов, фабрик используют прогнозирование при помощи теории катастроф, что бы избежать крупных техногенных катастроф. Примерами таких исследований могут служить статьи Yu, Liu; Острейковский, Саакян, Силин; Назаров

(Yu, Liu, 2015; Острейковский и др., 2012; Назаров, 2010).

Прогнозирование будущего на основе прошлых событий в истории (Байд, 2013; Усатова, 2012; Захарова, 2012).

К прогнозированию природных катастроф так же применяли теорию катастроф (Кильматов, Тринько, Дмитриева, 2013; Тикунова, 2006).

В своих работах Арнольд, Томпсон, Питухин, Скобцов применяли теорию катастроф в механике и машиностроении (Арнольд, 1979; Томпсон, 1985; Питухин, Скобцов, 2014).

Во избежание крупных аварий теория катастроф применяют для моделирования ситуаций в море (Логиновский, 2013; Маликова, 2014; Xinhua, Yao, Zengkun, Minyan, 2016).

Заключение

Теория катастроф берет свое начало из топологии и математического анализа. Ее первооткрывателями, давшими толчок для развития стали Уитни, Пуанкаре, Ляпунов и Андронов. Все их работы послужили основой для исследований математика Рене Тома. Именно он, опираясь на их исследования, выдвинул единую теорию – теорию катастроф.

Теории катастроф можно применить к множеству систем, проанализировать множество ситуаций, встречающихся в практике. При помощи теории катастроф можно прогнозировать множество процессов, протекающих вокруг человека, но не зависящих от него. Конечно, математическая теория прогнозирования не может предотвратить саму катастрофу, не может повлиять на нее, но при помощи этого знания можно уменьшить последствия катастрофы.

Идеи применения теории катастроф в разных научных направлениях помогают спрогнозировать те или иные ситуации, до их наступления. Теория катастроф показывает, почему реальные перемены могут стать опасными явлениями, особенно в экологии. Теория показывает, что изменения неизбежны, но на них можно оказывать влияние.

Применение теорий катастроф в экологии очень важно. Это позволит предсказывать приближение экологических катастроф, дать возможность избежать плачевных последствий. Человека постоянно окружает множество экологических систем. Но не только человек зависит от этих систем, но состояние экосистем тоже, в какой-то степени зависит от человека. Конечно, вмешательство человека неизбежно в природу. Но применяя модели теории катастроф, можно предсказать, насколько губительным для системы будет это вмешательство, и возможно, изменить средства и подходы для своего вмешательства. Или с другой стороны, зная, что какая-либо экосистема подходит к точке катастрофы, попытаться спасти ее или хотя бы уменьшить последствия. Примером могут служить лесные пожары, засуха, наводнения и др.

Важной составляющей для функционирования всех систем является водная экосистема. Для леса водная среда является важным «продуктом», но и водоемы зависят от леса. Леса увеличивают осадки, увеличивают поверхностный сток, уменьшают эрозию и снижают пик паводков. Очень часто при вырубке лесов не обращают внимание на эти факторы и исчезновение лесов может серьезно повлиять на сток вод. Это все может привести к изменению ландшафта, и, в критических случаях, изменению флоры и фауны территорий, зависящих от этих водоемов.

Во избежание таких ситуаций следует применять модели для прогнозирования состояния водоемов при вырубке или других видах обезлесения, например пожарах, ураганах.

Список литературы

1. Beltrami E. 1989. Brown tide dynamics as a catastrophe model. In Novel phytoplankton blooms: causes and impacts of recurrent brown tides and other unusual blooms, pp. 307-316. Ed. by E.M. Cosper, E.J. Carpenter, and V.M. Bricelj. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies. Springer-Verlag, Berlin. 799 p.

2. Bin Hu, Ni XiaCusp catastrophe model for sudden changes in a person's behavior // Information Sciences, Volume 294, 10 February 2015, Pages 489–512.

3. Brian R. Flay Catastrophe theory in social psychology: some applications to attitudes and social behavior // Northwetern University, 1978.

4. Catastrophe Theory, by Alexander Woodcock, Monte Davis. published by Penguin Books, 1980 (first published 1978), 171 p.

5. Dixon D. Jones The application of catastrophe theory ecological system, 1975.

6. Euler L. «De curvis elastics», MethodisInveniendi, Addit. I, Lozanne, 1744.

7. Fazey J. & Hardy L. (1988). The Inverted-U Hypothesis: Catastrophe for sport psychology. British Association of Sports Sciences Monograph No. 1. Leeds: The National Coaching Foundation.

8. Georges Leopold C.F.D. Cuvier, Discourssur les revolutions de la surface du globe et sur les changements qu'elles ontproduitsdans le règne anima, Издательство: Книга по Требованию, 2012 – 445 с.

9. Hans-Walter Lorenz Catastrophe, Theory and Economic Dynamics //Nonlinear Dynamical Economics and Chaotic Motion, 1993, p 233-244.

10. Hardy (Eds.), (1991) Stress and performance in sport. Chichester, UK: Wiley.

11. Hardy, L. (1990). A catastrophe model of anxiety and performance. In JG Jones& L.

12. Khalilov E.N. Global Changes of the Environment: Threatening the Progress of Civilization. GEOCHANGE: Problems of Global Changes of the Geological Environment. Vol. 1. London, 2010. P. 54-220.

13. Le Yu, Jianjun Liu Stability of interbed for salt cavern gas storage in solution mining considering cusp displacement catastrophe theory// Open Access funded by Southwest Petroleum University, March 2015, Pages 82–90.

14. Ludwig, D., D. D. Jones, and C. S. Holling. 1978. Qualitative analysis of insect outbreak systems: the spruce budworm and forest. Journal of Animal Ecology 47:315-332.

15. M.K.D.K. Piyaratne, Huiyan Zhao, Qingxiang MengAPHIDSim: A population dynamics model for wheat aphids based on swallowtail catastrophe theory // Ecological Modelling, Volume 253, 24 March 2013, Pages 9–16.

16. Qian Huang, Zhenyi Liu, Yi Zhou, Deping Zhang, Feng WangStudy on Mechanisms of CO_2 BLEVE Based on the Cusp-catastrophe Model // Energy Procedia, Volume 61, 2014, Pages 1343–1347.

17. Samedzade Z.A., Khalilov E.N. Natural cataclysms as a global factor of influence on the world economy // Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization. Book of abstracts of the World Forum – International Congress, September 19-21, Istanbul, Turkey. London: SWB, 2011. p. 19.

18. Scheffer M. 1999. Searching explanations of nature in the mirror world of math. ConservationEcology 3(2): 11. [online].

19. Scheffer M., and E. Jeppesen. 1998. Alternative stable states. Pages 397-406 *in* E. Jeppesen, M. Sondergaard, M. Sondergaard, and K. Kristoffersen, editors. Structuring role of submerged macrophytes in lakes. Volume 131. Springer-Verlag, New York, New York, USA.

20. Wimmers R.H.; Savelsbergh G.J.P.; J. van der Kamp; P. Hartelman A developmental transition in prehension modeled as a cusp catastrophe // 1998 John Wiley & Sons, Inc.

21. Zeeman E.C. Conflicting judgements caused by stress, British J. of Math, and Statist Psychology, v. 29, 1976, p. 19-31.

22. Zhao Xinhua, Sun Yao, Qi Zengkun, Han MinyanCatastrophe characteristics and control of pitching supercavitating vehicles at fixed depths // Ocean Engineering, Volume 112, 15 January 2016, Pages 185–194.

23. Арнольд В.И. Математические методы классической механики, 2 изд., М., 1979.

24. Арнольд В.И. Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук шаги математического анализа и теории катастроф, от эвольвент до квазикристаллов. – М.: Наука, 1989. 134 с.

25. Арнольд В.И. Теория катастроф.-3-е изд., доп. – М.: Наука, 1990. – 128 с.

26. Асаул М.А. Управление устойчивостью предпринимательских структур. – СПб.: Издание института проблем экономического возрождения, 2008. – 285 с.

27. Бондарев Н.С. Применение теории катастроф для оценки развития агропромышленного комплекса сибирского федерального округа // Известия ОГАУ . 2015. № 1 (51). С. 205-208.

28. Бурханов В. Р. Эволюционизм и катастрофизм в биологии [Текст] / В. Р. Бурханов // Молодой ученый. – 2011. – № 5. Т.1. – С. 138-142.

29. Володченкова Л. А., Гуц А. К. Катастрофы типа > в эволюции лесных экосистем // Мсим. 2009. № 1 (19). С. 45-67.

30. Володченкова Л.А., Гуц А.К. Математическое моделирование стадий вымокания берёзовых лесов с помощью теории катастроф // МСиМ . 2011. № 3 (24). С. 19-33.

31. Володченкова Л.А., Калиненко Н.А. Описание и моделирование катастроф лесных биоценозов // Вестник ЧГПУ. 2009. № 12. С. 298-309.

32. Гавриков В.Л., Хлебопрос Р. Г. Континуальность типов научения: динамическое моделирование на основе теории катастроф // вестн. том. гос. ун-та . 2010. № 331.

33. Гапонов-Грехов А.В. Нелинейные волны. Структуры и бифуркации. – Москва: Наука, 1987. – 401 с.

34. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. – М.: Мир, 1988, 345 с.

35. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Пер, с англ. – М.: Мир, 1984. – 350 с.

36. Голицын Г.А. Выбор и доминанта. – В сб.: «Проблемы принятия решений». М., «Наука», 1976, С. 309-317.

37. Грушевицкая Т. Г., Садохин А. П. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1998. – 383 с.

38. Гуц А.К., Володченкова Л.А. Катастрофы типа > в экологии человека // Мсим . 2009. № 1 (19). С. 68-77.

39. Гуц А.К., Лавров Д.Н. Описание ddos-атаки с помощью катастрофы «сборка» // МСиМ . 2013. № 1 (27). С. 42-45.

40. Гуц А.К., Володченкова Л.А. Математическая модель взаимосвязи «растительность – почва» в лесных экосистемах // МСиМ . 2015. № 3 (35). С. 56-60.

41. Давлетшина М.Р. Анализ устойчивости почвенной системы с использованием аппарата теории катастроф // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. № 1-7. С. 1435-1439.

42. Дж. М.Т. Томпсон. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. – М.: Мир, 1985, 254 с.

43. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. – М.: Мир, 1981. – 193 с.

44. Дулепов В.И., Лескова О.А., Майоров И.С. Системная экология. – Владивосток, 2004. 35 с.

45. E.C. Zeeman and oths, A model for institutional disturbances, British J. of Math and Statist. Psychology, v. 29, 1976, p. 66-80.

46. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З., Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса, М., Наука:1998 – 379 с.

47. Захарова Т.В. Катастрофизм как явление европейской и русской культуры первой трети xx в // Вестник ТГУ. 2012. № 1. С. 184-189.

48. Исаак Ньютон. Математические начала натуральной философии. Перевод с латинского и примечания А.Н. Крылова. – М.: Наука, 1989. 688 с.

49. Кильматов Т.Р., Тринько О.И., Дмитриева Е.В. Климатический тренд в тихом океане и теория катастроф // Известия ТИНРО. 2012. С. 184-191.

50. Коваленко А.В., Уртенов М.Х., Трахова С.Ш. Математическое моделирование финансово-экономического кризиса на предприятии с использованием

канонических катастроф складки и сборки // Научный журнал КубГАУ – ScientificJournalofKubSAU. 2010. № 63. С. 182-196.

51. Кузьменко А.К. Моделирование развития предприятия с использованием теории катастроф // БИ. 2014. № 9. С. 114-118.

52. Лагранж Ж. Аналитическая механика. Том I. Статика. Динамика. – М.-Л, Гос. изд-во техн.-теор. лит-ры, 1950.

53. Логиновский В.А., Вячеславов Е.Л. Применение теории катастроф для классификации сценариев движения судна по створу // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. № 6 (22). С. 20-24.

54. Маликова Т.Е. Применение теории катастроф для классификации сценариев потери остойчивости судна при смещении груза // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. № 3 (25). С. 15-19.

55. Михайлов А.В. Физическая теория катастроф. – СПб.: Реноме, 2009. – 130 с.

56. Мощенко И.Н. Имитационное моделирование этнополитической ситуации юга России на основе теории динамических систем // ИВД. 2010. № 3. С. 181.

57. Мощенко И.Н., Ярошенко А.Н., Иванова М.И. Моделирование эмоционального восприятия политического порядка студенчеством дгту // ивд. 2014. № 1. С. 87.

58. Назаров Дмитрий Иванович Теория катастроф в задачах анализа состояния горнотехнических зданий и сооружений // Вестник КузГТУ. 2010. № 2. С. 80-81.

59. Найман Э. Теория хаоса. 12 с.

60. Острейковский В.А., Саакян С.П., Силин Я.В. Прогнозирование техногенного риска динамических систем методами теории катастроф // Фундаментальные исследования. 2012. № 3-2. С. 399-402.

61. Острейковский Владислав Алексеевич Математические модели регрессионного анализа и теории катастроф синдрома дыхательных путей // НиКСС. 2013. № 1. С. 69-77.

62. Паутова Л.А., Гуц А.К. Крушение стабильности общества и теория катастроф // МСиМ. 2014. № 3 (31).

63. Питухин А.В., Скобцов И.Г. Методы теории катастроф при проектировании защитных устройств кабин технологических машин // Фундаментальные исследования . 2014. № 9-8. С. 1682-1686.

64. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М.: Мир, 1980, 608 с.

65. Рюэль. Случайность и хаос. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 456 с.

66. Стюарт И. Тайны катастрофы: пер. с франц. – М.: Мир, 1987. – 76 с.

67. Усатова Ю.Н. Вероятность и аспекты теории катастроф: социально-философский подход // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 2. С. 140-145.

68. Хомизури Г.П. Слово об Эдуарде Зюссе // Вестник отделения наук о Земле РАН. 2002. Т. 1. № 20.

69. Хуго де Фриз. Теория мутаций, цитируется по: Жизнь науки. Антология вступлений к классике естествознания / Сост.: С.П. Капица, М., «Наука», 1973 г., С. 315-316.

70. Чуличков А. Теория катастроф и развитие мира (математический подход) // Наука и жизнь № 6, 2001.