Математические структуры и моделирование 2024. № 4 (72). С. 48–62

УДК 515.164.15+517.925:338.14
DOI 10.24147/2222-8772.2024.4.48-62

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ДИНАМИКА ПРИБЫЛИ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

Е.Е. Володченков
аспирант, e-mail: vee-395@yandex.ru

Международный инновационный университет, Сочи, Россия

Аннотация. Предлагается модель скачков прибыли строительного предприятия, основанная на математической теории катастроф. Модель даёт возможность рассчитывать изменения прибыли по шести (семи) факторам, определяющим экономическую безопасность предприятия. Мы рассматриваем 6-факторную модель, известную как катастрофа Star. Эта модель представляет типичный росток катастроф, т. е. описывает основную массу однотипных строительных предприятий. Типичность ростка и его универсальные деформации дают нам возможность говорить о достаточной адекватности предлагаемой модели, поскольку нетипичные ростки относятся, с точки зрения математики, к исключительным явлениям, редко встречающимся в экономике.

Ключевые слова: экономическая безопасность, строительное предприятие, математическая модель, прибыль, теория катастроф.

Введение

Под экономической безопасностью предприятия понимается способность этого предприятия, находящегося в определённых экономических условиях, обеспечивать его существование и привычное для его работников функционирование в случае изменения факторов, которые определяют деятельность рассматриваемого предприятия.

Как бы не был подготовлен управляющий предприятием персонал, возникают ситуации, когда предприятие, его экономика, претерпевает неожиданные скачкообразные изменения, которые, в частности, могут иметь катастрофические последствия. Поэтому если говорить об экономической безопасности предприятия, то очевидно, что управляющий персонал должен уметь предсказывать возможные скачки и уметь их предотвращать.

Помимо традиционных, чисто экономико-управленческих методов, персонал должен быть готовым использовать и современные математические методы управления предприятием и методы принятия решений.

С середины XX в. в экономике стали использоваться математические методы. В основном это методы оптимизации, методы теории игр, принятия решений и др. Однако был и период, когда в экономике стала использоваться математическая теория катастроф, которая исследовала скачкообразные изменения в состоянии изучаемой системы [1].

Методы описания скачков, катастроф, известные под названиями теория бифуркаций и теория катастроф, были разработаны математиками во второй половине XX в. В начале 1970-х гг. появилось множество статей, в которых демонстрировалась результативность теории катастроф в различных областях науки. В частности, с помощью теории катастроф Зееман (1974) описал динамику финансового рынка.

Однако после первых шумных обсуждений предложенных теоретико-катастрофических моделей со временем достигнутые результаты стали подвергаться критике и постепенно интерес к теории катастроф угас.

Сейчас, похоже, происходит переосмысление применимости методов теории катастроф в экономике. В 2007 г. Дж.Б. Россер (мл.) подвёл итог этому периоду в статье «Взлёт и падение теории катастроф. Применение в экономике: Выплеснули ли ребёнка вместе с водой?» следующими словами: «Общие критики теории катастроф также подвергли резкой критике работу Зеемана (1974) о динамике финансового рынка. Однако переоценка показывает, что многие из этих критических замечаний были ошибочными. В той степени, в которой экономисты избегали использования теории катастроф из-за этой критики, им больше не следует этого делать» [2].

Поэтому совсем неслучайно в XXI в. теория катастроф вновь стала интересовать экономистов [2–8].

Дело в том, что эта теория даёт аппарат исследования скачкообразных процессов, когда сам процесс описывается дифференциальным уравнением. В нашем случае это касается описания скачкообразных, катастрофических изменений состояния предприятия и непредсказуемых заранее направлений его развития, возникающих при, казалось бы, совершенно спокойных, незначительных и контролируемых плавных изменениях в окружающей среде, и которые в математике известны под названием *бифуркация процессов*.

Поскольку в жизни наблюдаются скачкообразные изменения состояния предприятий с последующей непредсказуемой эволюцией, то очевидно, что возобновление использования теории катастроф в экономике – это закономерное явление. Время протекания таких скачков часто пренебрежимо мало по сравнению с временем существования предприятия. Скачки могут привести и к краху, катастрофе предприятия. «Теория катастроф позволяет идентифицировать границы устойчивости предприятия и определить критические значения показателей» [5].

Следует отметить, что «эта теория находится ещё в стадии начального развития. В обратном же случае, полагаем, что теория экономической безопасности могла бы рассматриваться как частный случай теории катастроф. Тем не менее, её элементы, несомненно, ценны и требуют серьёзной проработки» [4].

В данной статье в развитие масштабов применимости теории катастроф в экономике строится теоретико-катастрофическая модель прибыли строительного предприятия, которую мы рассматриваем как величину, определяющую экономическую безопасность предприятия.

1. Экономическая безопасность и прибыль предприятия

Если мы говорим об экономической безопасности предприятия, в частности строительного, необходимо отметить, что экономическая безопасность – это качественная характеристика.

Да, она может подкрепляться количественными данными, однако результаты экспертного суждения будут даны в виде формулировок: «низкий», «допустимый», «удовлетворительный», «высокий», ... уровень экономической безопасности.

На данный момент общая модель оценки экономической безопасности представляет собой комплексный сбор данных о предприятии по 4 ключевым параметрам:

– финансовая безопасность (коэффициенты ликвидности, автономности, независимости, финансового рычага);

– кадровая безопасность (уровень з/п, стабильность кадрового состава, производительность и т. д.);

– технико-технологическая безопасность (расчёт коэффициентов, связанных с основными средствами);

– производственно-сбытовая составляющая (расчёт коэффициентов рентабельности).

По каждому параметру рассчитываются определённые коэффициенты, которые дают представление об уровне устойчивости предприятия, а после определения весовых/поправочных коэффициентов выводят средневзвешенные.

Если мы исходим из того, что целью любого коммерческого предприятия является систематическое извлечение прибыли (что по закону именно так, ст. 50 ГК РФ), то логично брать за основную величину именно прибыль.

В обосновании выбора имеет смысл говорить о том, что если предприятие занимается какой-либо деятельностью на постоянной основе, то выручка будет однозначно (от реализации товаров, работ, услуг), а прибыли может и не быть, в связи с различными факторами (высокая себестоимость, неграмотный менеджмент, налоги, закредитованность).

Факторов, влияющих на объём прибыли, великое множество. Однако необходимо определить наиболее ключевые, влияющие именно на состояние экономической защищённости предприятия.

2. Факторы, влияющие на объём прибыли

Перечислим эти факторы:

$$u_1 - \textit{ставка Центрального Банка РФ}, \quad u_2 - \textit{себестоимость строительства},$$

$$u_3 - \textit{себестоимость строительства (кв. м., 1 км дороги и т. п.)},$$

$$u_4 - \textit{спрос}, \quad u_5 - \textit{объём продаж},$$

$$u_6 - \textit{земельный банк}, \quad u_7 - \textit{сумма исков}.$$

Они управляют величиной прибыли предприятия. Обоснования даны в табл. 1. Большое число показателей > 5 порождает определённые трудности для выбора модели прибыли в рамках теории катастроф, поскольку хотя они и перечислены, но

Таблица 1. Факторы, влияющие на экономическую безопасность предприятия

№ п/п	**Фактор**	**Измерение**	**Обоснование**
1	Ставка Центрального Банка РФ и как следствие ставка по кредитам	%	В любом строительстве кредит имеет колоссальное значение. Заёмные денежные средства необходимы для пополнения оборота, приобретения техники и материалов, выплаты зарплаты и т. п. В современных реалиях жилищного строительства невозможно начать проект на собственные средства? если застройщик работает по 214-ФЗ, так как необходимо открытие эскроу-счёта, на котором будут аккумулироваться денежные средства приобретателей недвижимости, а параллельно застройщику в этот момент выдаётся кредит на строительство (проектное финансирование)
2	Себестоимость строительства (кв. м., 1 км дороги и т. п.)	руб.	Изменение себестоимости вследствие колебания валютных курсов, стоимости материалов, рабочей силы и прочего значительно может повлиять на финансовые результаты строительной компании. Однако себестоимость включает в себя различные затраты, связанные с функционированием предприятия
3	Спрос	руб.	Фактически спрос можно определить только объёмом заключённых сделок по конкретной цене в конкретный момент времени
4	Объём продаж	руб.	Количество реализованных объектов в денежном выражении
5	Инциденты безопасности	шт.	Тут необходимо учитывать произошедшее количество инцидентов безопасности, без разбивки (т. е. общее число утечек информации, физический травматизм, просроченная задолженность, кражи и т. п.)
6	Земельный банк	га/кв.м	Важный показатель для застройщиков, работающих в сфере жилищного строительства, так как от количества приобретённой земли напрямую зависят объёмы будущей застройки
7	Сумма исков	руб.	Количество исков от клиентов и их стоимостная оценка – самый точный показатель, определяющий добросовестность застройщика, качество и своевременность сдаваемых объектов. Справедливо как для компаний, работающих в сфере жилищного строительства, так и иных объектов

их может быть бесконечное число, а выбранные могут быть структурно неустойчивыми, т. е. терять свои свойства при внешних небольших возмущениях (при малых шевелениях).

3. Модель динамики величины $x(t)$ в теории катастроф

Изменчивость прибыли со временем t описывается с помощью математической модели, представляющей дифференциальное уравнение вида

$$\frac{dx}{dt} = -\nabla V(x, u),$$

$$x \in \mathbb{R}^n, \;\; u = (u_1, ..., u_k) \in \mathbb{R}^k,$$

где $V(x, u)$ – семейство, вид которого даёт теория катастроф. Нас будут интересовать *стационарные равновесные состояния*, т. е. состояния, для которых

$$\frac{dx}{dt} = \nabla V(x, u) = 0.$$

Иначе говоря, это состояния, находясь в которых прибыль не меняется некоторое длительное время, а если меняется, то скачками, осуществляющимися сравнительно за короткое время, в случае, когда управляющие параметры $u_1, ..., u_k$, меняясь, пересекают *бифуркационное множество* (если таковое имеется, см. § 4.1 и рис. 1).

Нам необходимо будет найти функцию $V(x, u)$ так, чтобы она заведомо обладала бифуркационным множеством. Для этого мы и обратимся к теории особенностей дифференцируемых отображений [10], или к математической теории катастроф. Эта теория классифицирует *типичные* формы семейств функций, или виды функций $V(x, u)$.

Типичность понимается как то, что встречается почти всегда, и поскольку прибыль предприятия скорее нужно отнести к типичным, обычным явлениям, то вполне можно искать функцию $V(x, u)$ среди **типичных ростков**.

Росток в точке p – это класс эквивалентности функций, когда две функции $f : (\mathbb{R}^n, p) \to (\mathbb{R}, 0)$ и $g : (\mathbb{R}^n, p) \to (\mathbb{R}, 0)$ считаются эквивалентными, если они совпадают на некоторой окрестности точки p. В случае признания прибыли рассматриваемого предприятия, а она в нашем подходе определяет экономическую безопасность предприятия, *нетипичным явлением* нам придётся искать вид функции V уже вне теории катастроф, а точнее, придётся выводить, определять её вид, опираясь на некоторые, скажем, эвристические методы, обращаясь к профессиональным математикам, работающим в союзе с экономистами.

«Типичные формы ростков во многом все классифицированы, и нам всего лишь нужно будет выбрать подходящую. Это обстоятельство отчасти нас смущает – одна и та же функция для различных явлений, совсем не из близких сфер человеческой деятельности или природы. Но в этом блеск теории катастроф, ведь она сумела единым способом описать самые разнообразные явления, сосредоточившись на типе катастрофического, скачкообразного перехода от одного равновесия к другому. Эти переходы оказались достаточно однообразными и их смогли классифицировать. Правда, если число управляющих ими факторов/параметров не слишком большое. Но в ряду случаев, их может быть и бесконечно много» [16].

Если мы описываем прибыль одним уравнением, т. е. имея только одну 1-мерную переменную x, и учитываем 7 управляющих факторов (параметров), то в общем случае функция $V(x,u)$ имеет вид [11, с. 52]

$$V(x,u) = \pm x^9 + \sum_{k=1}^{7} u_k x^k,$$

и, следовательно, динамика прибыли предприятия описывается уравнением

$$\frac{dx}{dt} = \mp 9x^8 - \sum_{k=1}^{7} k u_k x^{k-1}.$$

4. Типичные ростки и их версальные деформации [16]

Теория катастроф пытается дать ответ на вопрос: каковы *обычно* встречаемые типы k-параметрических гладких семейств функций $V(x, u_1, ..., u_k)$? Или: каковы типичные формы этих семейств?

Хотелось, чтобы именно эти типы и властвовали в природе. А те, что к ним не причислены, были крайне редки. На языке математики можно это выразить словами: множество семейств с типичными формами образуют среди всех гладких семейств *открытое плотное* множество. Иначе говоря, если берём типичную форму, то все близкие к ней также типичны, а если попалась нам нетипичная форма, то сколь угодно близко к ней всегда есть типичная.

Семейство с параметром u

$$V : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^k \to \mathbb{R},$$

$$x \in \mathbb{R}^n, \;\; u \in \mathbb{R}^k,$$

имеет *особенность* в точке $x = 0$, если

$$V(0,u) = 0, \;\; d_x V(0,u) = 0.$$

Функцию с особенностью часто саму называют *особенностью*.

Особенность вырожденная, если

$$det \left\| \frac{\partial^2 V}{\partial x_i \partial x_j}(0,u) \right\| = 0,$$

где l – число нулевых собственных чисел λ_i матрицы

$$\left\| \frac{\partial^2 V}{\partial x_i \partial x_j}(0,u) \right\|.$$

Рассматриваемое нами семейство $V(x,u)$ с помощью замены переменных $x \to \phi(x,u)$, $u \to \psi(u)$ может быть приведено к *каноническому* выражению вида (расщепление Тома):

$$V(x,u) = f(x,u) + F(x,u),$$

где

$$f(x,u) = CG(l) + \underbrace{\sum_{i=l+1}^{n} \lambda_i(u) x_i^2}_{\text{морсова часть}},$$

$$l - \text{коранг функции } V,$$

где $CG(l) = CG(l)(x_1, ..., x_l)$ – *росток катастрофы*, $F : (\mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^k, 0) \to \mathbb{R}$ – его *универсальная деформация* (возмущение).

Задача теории особенностей дифференцируемых отображений состоит в вычислении канонических ростков катастрофы и их универсальных деформаций[1].

Тем самым мы получаем канонические списки потенциальных функций $V(x, u)$, которые можно использовать в целях моделирования процессов в виде дифференциального уравнения (2). Выбирая каноническое выражение, мы будем автоматически получать типичные модели.

4.1. Бифуркационное множество

Рассмотрим семейство $V : \mathbb{R}^x \times \mathbb{R}^k \to \mathbb{R}$. Множество

$$C_V = \{(x, u) : d_x V(x, u) = 0\}$$

называется *множеством катастроф семейства* V, оно состоит из стационарных равновесий.

Среди стационарных равновесий есть вырожденные – это особенности, образующие *множество особенностей*:

$$\Sigma_V = \{(x, u) \in C_V : det\ d_x^2 V(x, u) = 0\},$$

проекция $\pi_V : R^n \times \mathbb{R}^k \to \mathbb{R}^k$ которого на плоскость $u \in \mathbb{R}^k$ даёт **бифуркационное множество**:

$$B_V = \pi_V(\Sigma_V) = \{u \in \mathbb{R}^k : \exists x((x, u) \in \Sigma_V)\}.$$

При изменении u с пересечением множества B_V происходит смена равновесия. Это и есть катастрофа!

4.2. Пример катастрофы Cusp (катастрофа сборки)

Рассмотрим семейство

$$V(x, u, v) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ux^2 + vx,$$

для которого

$$C_V = \{(x, u, v) : x^3 + ux + v = 0\},$$

[1] Алгоритм вычисления универсальных деформаций дан в [12, с. 256].

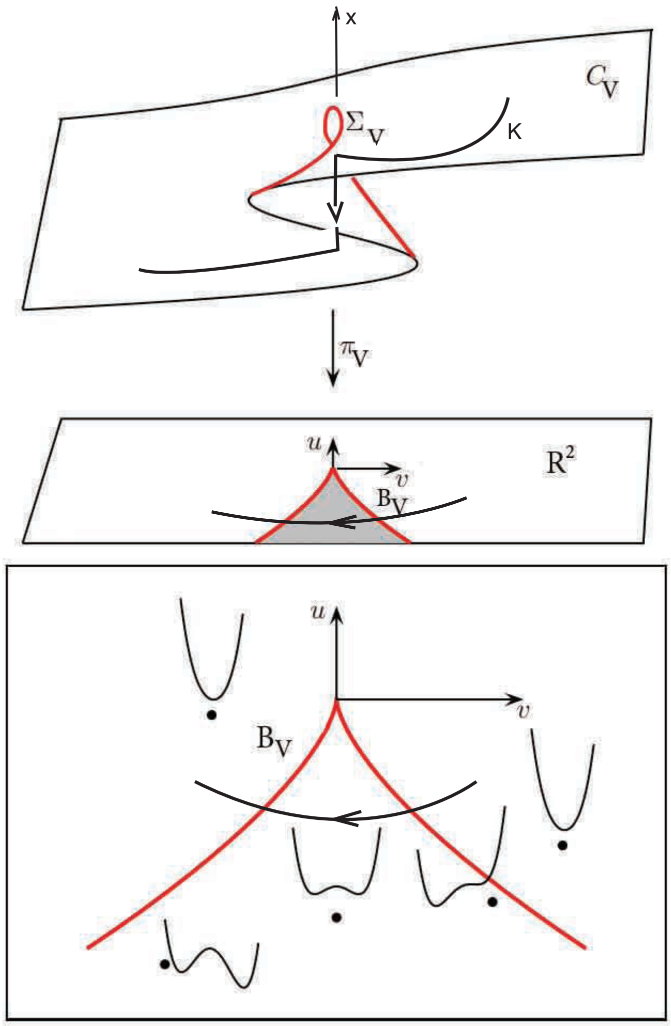

Рис. 1. Катастрофы сборки [9]. При движении в плоскости (u, v) вокруг (0,0) функция $V_{(u,v)}(x) = V(x, u, v)$ меняет число критических точек (в которых $d_x V_{(u,v)} = 0$). На рисунках видно как пересечение (проекция кривой K) бифуркацинного множества B_V скачком «обрушивает» значение прибыли предприятия x

$$\Sigma_V = \{(x, u, v) \in C_V : 3x^2 + u = 0\} =$$

$$= \{(x, u, v) : x^3 + ux + v = 0, u = -3x^2\} = \{(x, u, v) : v = 2x^3, u = -3x^2\}$$

– *множество особенностей*.

Тогда

$$B_V = \pi(\Sigma_V) = \{(u, v) \in \mathbb{R}^2 : \exists x(u = -3x^2, v = 2x^3)\}.$$

При движении в плоскости (u, v) вокруг (0,0) функция $V_{(u,v)}(x) = V(x, u, v)$ меняет число критических точек, происходят катастрофы (см. рис. 1).

Таблица 2. Ростки и их деформации при $k \leqslant 5$

Тип	n	k	$CG(l)$	$F(-,-)$
Складка	1	1	x^2	u_1x
Сборка	1	2	$\pm x^4$	$u_1x + u_2x^2$
Ласточкин хвост	1	3	x^5	$u_1x + u_2x^2 + u_3x^3$
Бабочка (A_5)	1	4	$\pm x^6$	$u_1x + u_2x^2 + u_3x^3 + u_4x^4$
Гиперболическая омбилическая точка	2	3	$x^3 + y^3$	$u_1x + u_2y + u_3xy$
Параболическая омбилическая точка	2	3	$\pm(x^2y + y^4)$	$u_1x + u_2y + u_3x^2 + u_4y^2$
Эллиптическая омбилическая точка	2	4	$x^3 - xy^2$	$u_1x + u_2y + u_3(x^2 + y^2)$
Вигвам (A_6)	1	5	x^7	$u_1x + u_2x^2 + u_3x^3 + u_4x^2 + u_5x^5$
Вторая эллиптическая омбилическая точка (D_6^-)	2	5	$x^2y - y^5$	$u_1x + u_2y + u_3x^2 + u_4y^2 + u_5y^3$
Вторая гиперболическая омбилическая точка (D_6^+)	2	5	$x^2y + y^5$	$u_1x + u_2y + u_3x^2 + u_4y^2 + u_5y^3$
Символическая омбилическая точка (E_6)	2	5	$\pm(x^3 + y^4)$	$u_1x + u_2y + u_3xy + u_4y^2 + u_5xy^2$

5. Теорема Тома – Зимана ($k \leqslant 5$)

Теорема 1. *Для $n \geqslant 1$ и $k \leqslant 5$ существует открытое и плотное множество структурно устойчивых гладких k-параметрических семейств $V(x,u) : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^k \to \mathbb{R}$, эквивалентных вблизи любой точки одному из канонических семейств, перечисленных в табл. 2. Число таких семейств зависит от k:*

k	$\leqslant 1$	$\leqslant 2$	$\leqslant 3$	$\leqslant 4$	$\leqslant 5$	$\geqslant 6$
Число типов	1	2	5	7	11	∞

■

Мы видим, что формулировка этой теоремы раскрывает нам понятие *типичности* ростка катастрофы: они образуют открытое плотное множество в многообразии всех гладких k-параметрических семейств функций. Иначе говоря, *почти любое* гладкое k-параметрическое семейство указано в табл. 2.

Бесконечное число семейств функций V при $k \geqslant 6$ можно исключить за счёт ослабления определения эквивалентности семейств [13, с. 170]. Для решаемой нами задачи это принципиально – число факторов k оценки прибыли часто больше 5, и желательно иметь конечное число вариантов при выборе модели прибыли предприятия.

6. Скачки прибыли предприятия в случае ростка Cusp

Если бы мы для моделирования скачков прибыли предприятия использовали росток Cusp, т. е. располагали только двумя управляющими факторами, то множество катастроф C_V выглядело бы как на рис. 1 или на рис. 2.

Плавное изменение факторов u_1, u_2 при пересечении ими бифуркационного множества B_V приводило бы либо к падению прибыли, либо к её подъёму (рис. 2). Именно такую модель для финансового рынка выбрал Зееман в 1970-е гг. и, как мы знаем, попал под критику.

В нашем случае факторов семь, поэтому множество катастроф – это 7-мерная поверхность в 8-мерном пространстве. Её проекции на 2-мерные плоскости факторов (u_i, u_j) могут давать при изменении этих факторов скачки типа скачков Cusp-катастрофы. Но могут проявляться и другие катастрофы, например Swallowtail-катастрофа, т. е. катастрофа «Ласточкин хвост».

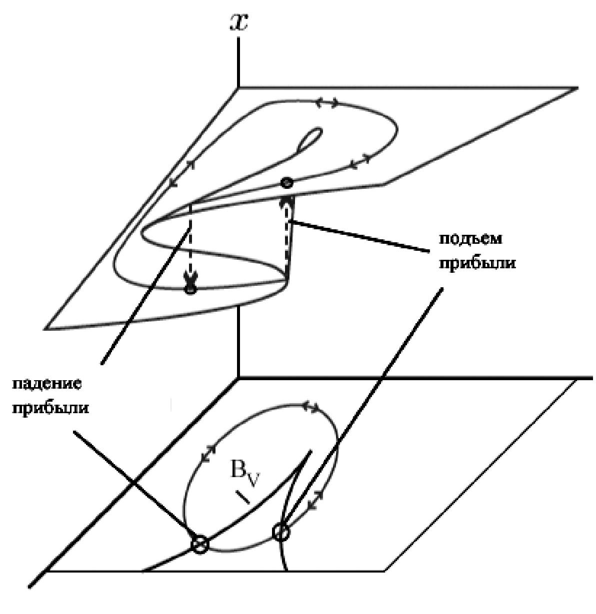

Рис. 2. Скачки прибыли в случае катастрофы Cusp (сборки) (рис. из [14])

7. Скачки прибыли предприятия в случае ростка Star

Если мы не будем рассматривать фактор «спрос» как существенный фактор, влияющий на прибыль строительного предприятия, то можем моделировать динамику прибыли с помощью катастрофы Star:

$$V(x,u) = x^8 + \sum_{k=1}^{6} u_k x^k. \tag{1}$$

Для этой катастрофы в книге [15] были рассчитаны проекции множества катастроф C_V, а значит и множество особенностей Σ_V на различные двумерные плоскости (u_i, u_j) (см рис. 3, 4).

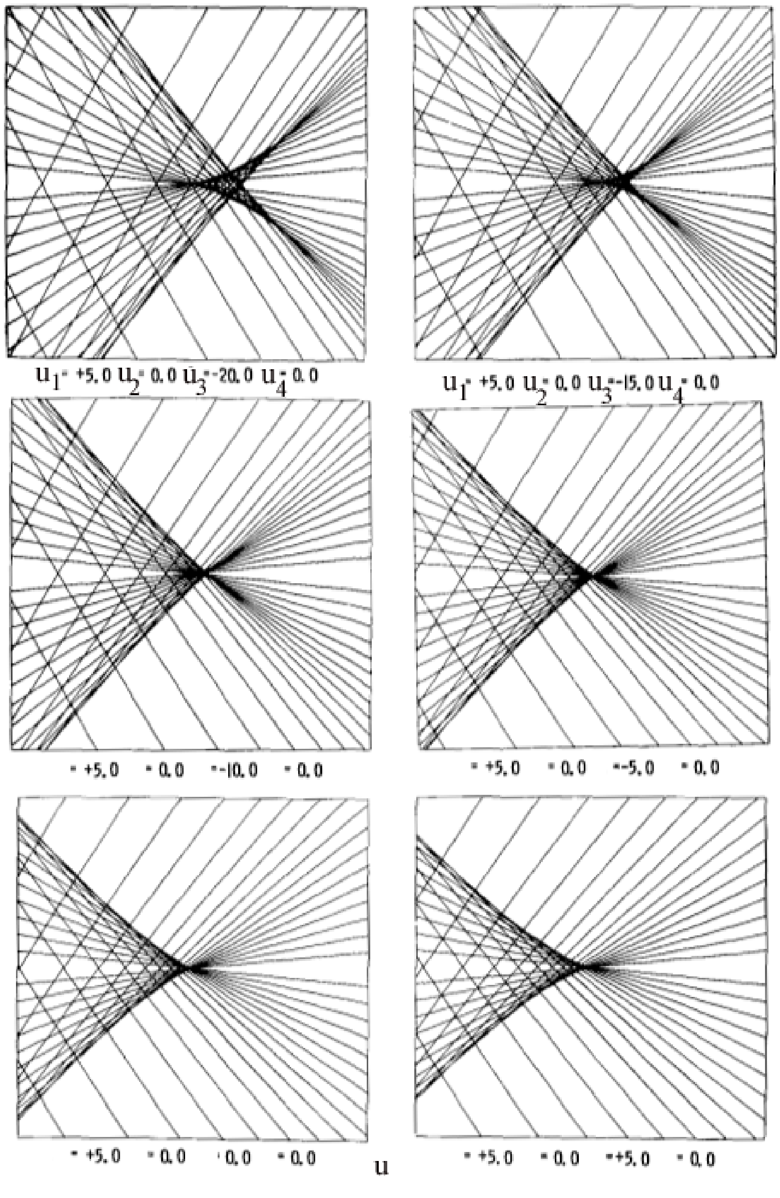

Рис. 3. Проекции (линейчатой) поверхности катастрофы Star на плоскость (u_5, u_6). Значения факторов u_1, u_2, u_3, u_4 указаны под рисунками (рис. из [15, p. 46])

Когда $u_1 = 0$ или положительно, то картина особенности типична для катастрофы «Бабочки» с двумя крыльями, появляющимися, когда u_3 отрицательно (рис. 3). Но когда u_1 отрицательно, u_2 велико и положительно, а $u_3 = u_4 = 0$, особенность у Star – просто сборка (Cusp) (рис. 4).

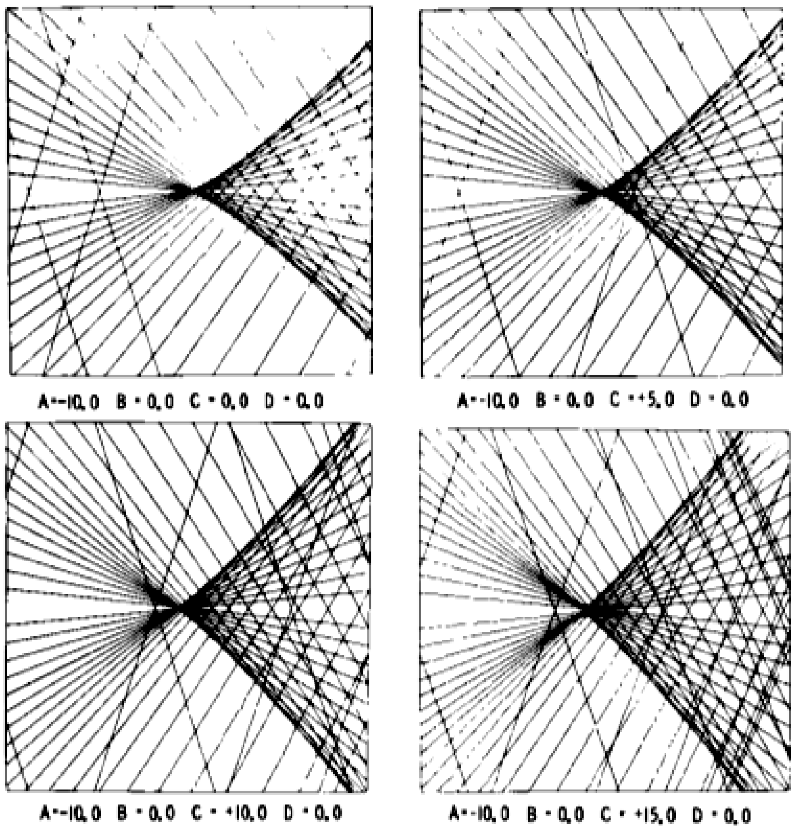

Рис. 4. Проекции (линейчатой) поверхности катастрофы Star на плоскость (u_5, u_6) с каспоидным поведением (рис. из [15, p. 42])

Поведения функции $V(x, u)$ дано на рис. 5. Она может иметь не более 7 действительных корней. Поскольку это нечётное число, катастрофа не является самодвойственной. Будет либо 4 максимума и 3 минимума, либо 4 минимума и 3 максимума.

Мы видим, что исследование и предсказание возможных скачков при плавных изменениях управляющих факторов $(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6)$ наталкивается на весьма сложную геометрическую картину как множества катастроф, так и прохождения факторов по возможным путям в пространстве $(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6)$. Без создания соответствующего программного приложения с визуализацией возникающих ситуаций вряд ли возможна плодотворная экспертная работа.

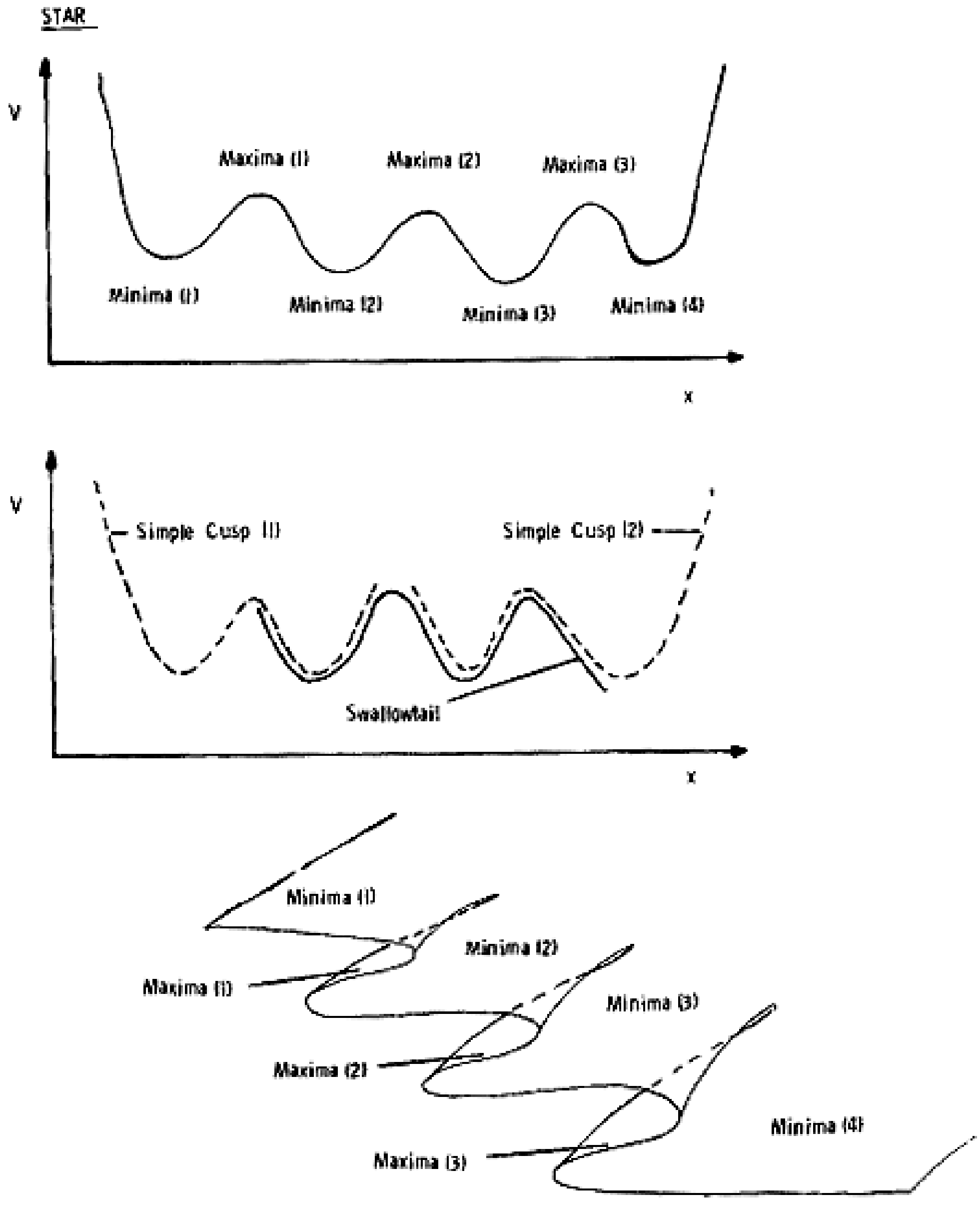

Рис. 5. Возможные стационарные равновесия потенциальной энергии (4) – это максимумы и минимумы функции $V(x,u)$. Здесь $u_1 = -8,0$, $u_2 = 0,0$, $u_3 = +16,0$ и $u_4 = 0,0$ (рис. из [15, p. 229])

Ещё более сложная ситуация имеет место в случае учёта всех семи факторов из табл. 1. Тогда мы получаем катастрофу, обозначаемую как A_8:

$$V(x,u) = x^9 + \sum_{k=1}^{7} u_k x^k. \tag{2}$$

В литературе отсутствует какое-либо геометрическое изучение этой катастрофы.

Заключение

Мы видим, что теория катастроф позволяет построить множество различных моделей прибыли предприятия, которые дают возможность учитывать достаточно большое количество факторов, влияющих на прибыль, и при желании в ряде моделей их число можно неограниченно увеличивать. Такая множественность в принципе позволяет учитывать специфические особенности в деятельности тех или иных строительных предприятий.

Типичность используемых при моделировании ростков и их универсальных деформаций позволяет говорить о достаточной адекватности предлагаемых моделей, поскольку нетипичные ростки относятся с точки зрения математики к исключительным явлениям, редко встречающимся в природе, в нашем случае – в экономике предприятий.

Благодарности

Автор благодарит профессора А.К. Гуца за консультации по теории катастроф и за разрешение использовать фрагменты из его статьи [16].

Литература

1. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и её приложения. М.: Мир, 1982.
2. Rosser J.B.Jr. The rise and fall of catastrophe theory applications in economics: Was the baby thrown out with the bathwater? // Journal of Economic Dynamics & Control. 2007. Vol. 31. P. 3255–3280.
3. Ганчар Н.А. Экономическая безопасность и устойчивость развития приграничных регионов // Журнал правовых и экономических исследований. 2019. № 3. С. 118–123.
4. Феофилова Т.Ю. Исходные предпосылки формирования основ теории экономической безопасности. URL: `https://api.semanticscholar.org/CorpusID:146592581` (дата обращения: 10.09.2024).
5. Данiлова Е.I. Теоретичнi концепти формування системи економiчної безпеки // Бiзнесiнформ. 2019. № 8. С. 8–14.
6. Бородин А.И., Новикова Н.И., Шаш Н.Н. Применение синергетических методов и теории катастроф // Эффективное Антикризисное Управление. 2015. № 2 (89). С. 84–90.
7. Зенченко С.В., Егоркин Е.А. Применение теории катастроф для оценки устойчивости позиций кредитной организации // Вестник СевКавГТУ. 2014. Вып. 19. С. 22–27.
8. Неделько Н.С. Использование теории катастроф к анализу поведения экономических систем // Вестник МГТУ. 2010. Т. 13, № 1. С. 223–227.
9. Montaldi J. Singularities Bifurcations & Catastrophes. University of Manchester, 2009.
10. Арнольд В.И., Варченко А.Н., Гусейн-Заде С.М. Особенности дифференцируемых отображений. М.: МЦНМО, 2009. 672 с.
11. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Т. 1. М.: Мир, 1984.
12. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Т. 2. М.: Мир, 1984.
13. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. М.: Мир, 1982.

14. Crutchfield J. Lecture 4. The Big, Big Picture / Nonlinear Physics, Physics 150/250. Spring, 2008. URL: `https://csc.ucdavis.edu/~chaos/courses/nlp/Lectures/Lecture4Slides.pdf` (дата обращения: 10.09.2024).
15. Woodcock A.E.R., Poston T. A geometric study of the Elrmentary Catastrophes. N.Y.: Springer-Verlag, 1974.
16. Гуц А.К. Моделирование стационарных равновесных состояний почвы и их катастрофические изменения под влиянием антропогенных нагрузок // Математические структуры и моделирование. 2023. № 2 (66). С. 15–37.

ECONOMIC SECURITY AND PROFIT DYNAMICS OF A CONSTRUCTION COMPANY FROM THE POINT OF VIEW OF THE MATHEMATICAL THEORY OF CATASTROPHES

E.E. Volodchenkov
Postgraduate Student, e-mail: vee-395@yandex.ru

International Innovation University, Sochi, Russia

Abstract. A model of jumps in profits of a construction company based on the mathematical theory of catastrophes is proposed. The model makes it possible to calculate changes in profits for six (seven) factors that determine the economic security of the enterprise. We consider a 6-factor model known as the Star catastrophe. This model represents a typical sprout of catastrophes, i.e. it describes the bulk of similar construction companies. The typicality of the sprout and their universal deformations allows us to talk about the sufficient adequacy of the proposed model, since atypical sprouts are related from the point of view of mathematics to exceptional phenomena, rarely encountered in the economy

Keywords: economic security, construction company, mathematical model, profit, catastrophe theory.

Дата поступления в редакцию: 17.09.2024