

Григорьева Анастасия Владимировна

аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра

Великого, г. Санкт-Петербург

**УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ ХАОСА И
ТЕОРИИ КАТАСТРОФ**

Аннотация. В статье исследуются возможности применения теории хаоса, теории катастроф и синергетики для управления развитием сложных организационно-технических систем. Обоснована необходимость дополнения линейных моделей управления нелинейными методами в условиях высокой неопределённости внешней и внутренней сред организаций. Систематизированы понятия точки бифуркации, аттрактора, флуктуации и диссипативной структуры; предложена пятиэтапная методология адаптивного управления. Практическая значимость работы состоит в возможности использования подхода при диагностике неустойчивости, сценарном планировании и организации мониторинга слабых сигналов.

Annotation. This article explores the potential applications of chaos theory, catastrophe theory, and synergetics to the management of complex organizational and technical systems. It justifies the need to supplement linear control models with nonlinear methods in conditions of high uncertainty in the external and internal environments of organizations. The concepts of a bifurcation point, an attractor, fluctuations, and a dissipative structure are systematized; a five-stage methodology for adaptive control is proposed. The practical significance of this work lies in the possibility of using this approach in diagnosing instability, scenario planning, and organizing the monitoring of weak signals.

Ключевые слова: сложные организационно-технические системы, теория хаоса, теория катастроф, синергетика, точка бифуркации, аттрактор, адаптивное управление, инновационное развитие.

Keywords: complex organizational-technical systems, chaos theory, catastrophe theory, synergetics, bifurcation point, attractor, adaptive control, innovative development.

Введение

Сложные организационно-технические системы объединяют персонал, технические средства, данные, процессы и управленческие механизмы. Их развитие определяется не только внутренними решениями, но и взаимодействием с изменчивой внешней средой. В таких системах результат управленческого воздействия часто непропорционален его масштабу: локальное изменение регламента, технологии либо структуры коммуникаций способно вызвать системные последствия. Поэтому применение исключительно линейных моделей планирования и контроля не всегда обеспечивает адекватное описание реальной динамики [1; 2].

Теория хаоса, теория катастроф и синергетика предоставляют язык для анализа нелинейности, неравновесности, самоорганизации и качественных переходов. В менеджменте эти положения позволяют рассматривать кризис не только как отклонение от нормы, но и как момент выбора дальнейшей траектории системы [3; 4]. Цель статьи состоит в разработке методических положений по управлению развитием сложных организационно-технических систем на основе концепций хаоса и катастроф.

1. Теоретические основания

1.1. Свойства организационно-технических систем

Организационно-техническая система является открытой системой: она непрерывно обменивается с окружением информацией, ресурсами, технологическими решениями и управленческими воздействиями. Для неё характерны иерархичность, эмерджентность, обратные связи и множественность целей. Вследствие этого однозначная связь «причина – следствие» часто оказывается недостаточной для прогнозирования поведения системы [5].

Синергетический подход трактует развитие как чередование устойчивых и неустойчивых состояний. В периоды устойчивости доминируют

воспроизводственные процессы; при накоплении противоречий и росте внешних возмущений система приближается к порогу структурной перестройки. Управление в такой логике должно сочетать сохранение жизнеспособности с созданием условий для контролируемой самоорганизации [6].

1.2. Теория хаоса и катастроф

Теория детерминированного хаоса изучает поведение нелинейных систем, в которых малые различия начальных условий способны со временем приводить к существенно различающимся траекториям. Это не означает отсутствия закономерностей: хаотическая динамика может быть детерминированной, но ограниченно предсказуемой на длительном горизонте [7].

Теория катастроф исследует качественные скачки состояния при постепенном изменении управляющих параметров. Для управления ОТС это означает необходимость выделения критических зон, в которых прежний режим функционирования утрачивает устойчивость, а выбор альтернативной траектории зависит от конфигурации обратных связей и направленности управленческого воздействия [3; 8].

2. Категориальный аппарат

Основные понятия нелинейной динамики и их управленческая интерпретация представлены в таблице 1.

Таблица 1. Интерпретация категорий теории хаоса в управлении ОТС

Понятие	Содержательная интерпретация	Интерпретация для ОТС	Пример
Точка бифуркации	Критическое состояние, при котором траектория ветвится	Момент выбора варианта развития	Решение о смене бизнес-модели
Аттрактор	Множество состояний, к которому стремятся траектории	Целевое устойчивое состояние системы	Освоенная технологическая ниша
Флуктуация	Малое случайное отклонение	Локальная инициатива или внешний сигнал	Идея сотрудника, запрос клиента
Диссипативная структура	Упорядоченная структура в неравновесной среде	Новая конфигурация процессов и связей	Кросс-функциональная команда

Странный аттрактор	Ограниченная, но непериодическая динамика	Сложная конкурентная динамика	Колебания спроса и технологий
--------------------	---	-------------------------------	-------------------------------

Как показывает таблица 1, математические понятия допускают содержательную интерпретацию в управленческой практике. Точка бифуркации соответствует моменту организационного выбора, а аттрактор – целевому режиму, который закрепляет желаемую траекторию. Важно, что флуктуация не всегда должна подавляться: при наличии механизмов отбора она может стать источником инновационного развития [4; 6].

3. Сравнение управленческих подходов

Сравнительная характеристика подходов представлена в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика управленческих подходов.

Критерий	Линейный подход	Теория катастроф	Синергетика и теория хаоса
Объект	Относительно стабильная система	Система в кризисе	Открытая нелинейная система
Изменения	Плавные и прогнозируемые	Скачкообразные	Нелинейные, чувствительные к контексту
Роль случайности	Минимизируется	Может стать триггером	Является источником флуктуаций
Управление	Планирование и контроль	Предотвращение потери устойчивости	Резонансные малые воздействия
Результат	Поддержание режима	Переход к новому состоянию	Адаптация и самоорганизация

Таблица 2 показывает, что линейный подход сохраняет значение для рутинных и слабоизменчивых процессов. Однако при нарастании неопределённости управление должно переходить к выявлению критических параметров, анализу обратных связей и созданию условий для адаптивной перестройки. Теория катастроф особенно полезна для анализа потери устойчивости, а синергетика и теория хаоса – для проектирования траекторий развития [3; 6; 9].

4. Нелинейная динамика

Для иллюстрации ключевых положений теории хаоса представим графические модели, демонстрирующие различные аспекты нелинейной динамики.

4.1. Бифуркационная диаграмма

На рисунке 1 приведена бифуркационная диаграмма логистического отображения – классической модели, показывающей переход от порядка к хаосу при изменении параметра управления.

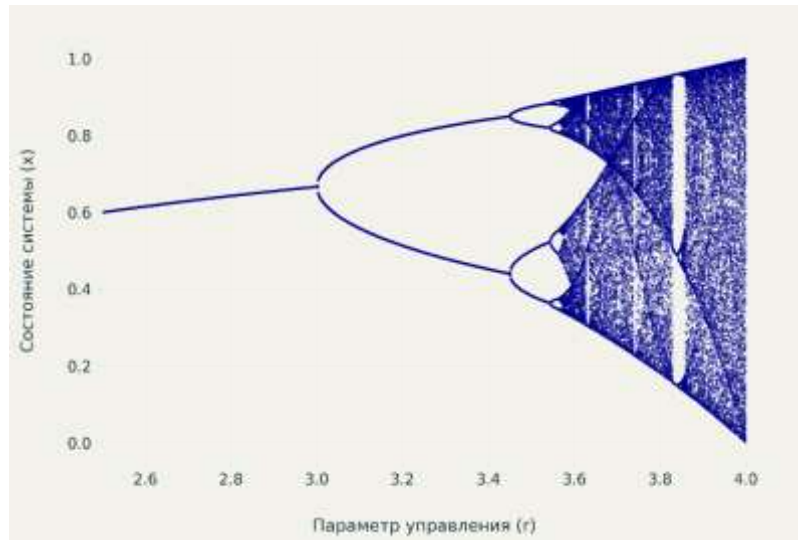


Рисунок 1. Бифуркационная диаграмма логистического отображения

Вывод по рисунку 1: при значениях параметра $r < 3$ система находится в устойчивом состоянии. При $r \approx 3$ начинается каскад бифуркаций, а при $r > 3,57$ система переходит в хаотический режим [10]. Организационные системы при увеличении «напряжённости» внешней среды (аналог параметра r) проходят через последовательность бифуркаций, вплоть до хаотического режима. Задача управления – не допустить деструктивного хаоса, используя конструктивный хаос для инноваций.

4.2. Аттрактор Лоренца

На рисунке 2 изображён фазовый портрет аттрактора Лоренца – пример странного аттрактора с фрактальной структурой.

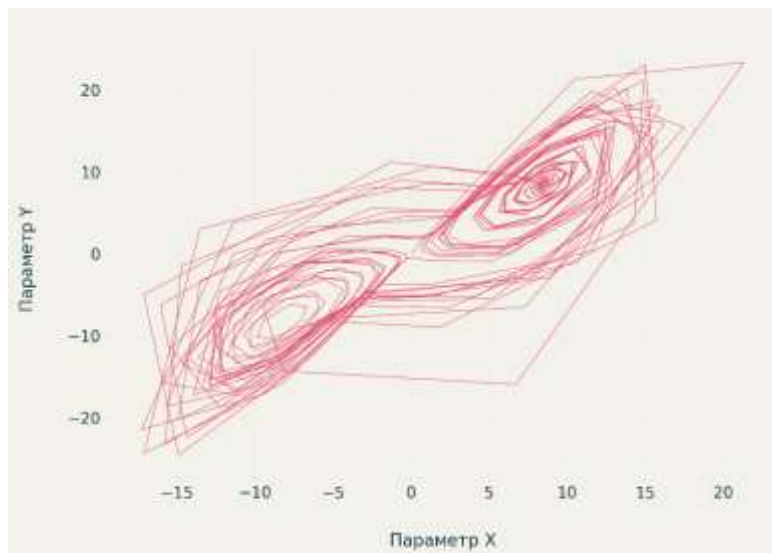


Рисунок 2. Фазовый портрет аттрактора Лоренца

Вывод по рисунку 2: Траектория системы никогда не повторяется, но остаётся в пределах определённой области фазового пространства [11]. В конкурентной среде организация может демонстрировать сложное, непредсказуемое поведение, но при этом оставаться в пределах «бассейна притяжения» своего аттрактора (например, определённой рыночной ниши). Это означает, что даже при высокой вариативности операционных показателей организация сохраняет функциональную идентичность.

4.3. Динамика научных публикаций

На рисунке 3 отражена динамика научных публикаций по теории хаоса в экономике за период 1970–2024 гг.

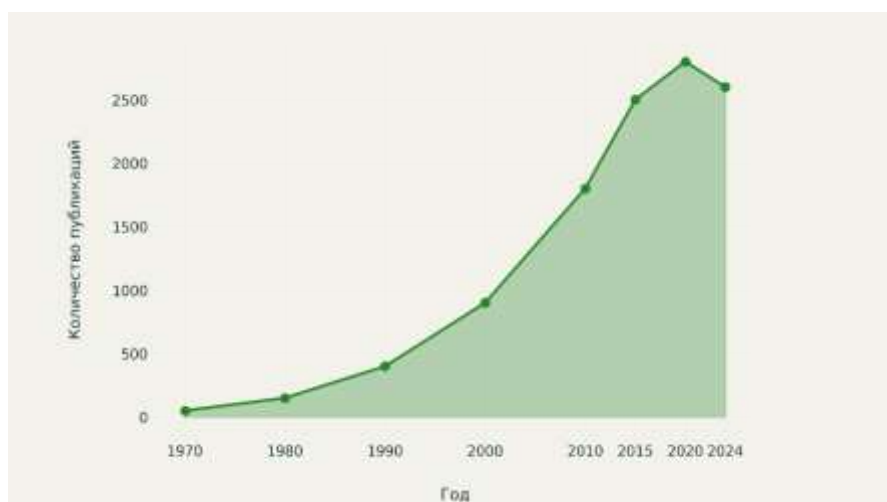


Рисунок 3. Динамика научных публикаций по теории хаоса в экономике (1970-2024 гг.)

Вывод по рисунку 3: наблюдается устойчивый рост интереса к теме, с пиком в 2011-2020 гг. [7]. Научное сообщество признаёт возрастающую значимость теории хаоса для экономики и менеджмента, что подтверждает актуальность данного исследования. Замедление роста после 2020 г. может свидетельствовать о переходе от теоретических исследований к прикладным разработкам.

4.4. Модель выбора траектории в точке бифуркации

На рисунке 4 представлена модель выбора траектории развития в точке бифуркации.

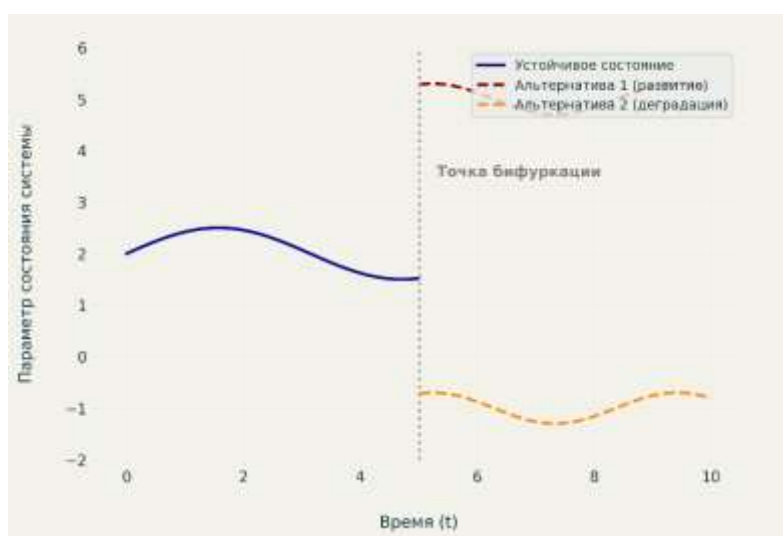


Рисунок 4. Модель выбора траектории развития в точке бифуркации

Вывод по рисунку 4: до точки бифуркации система находится в устойчивом состоянии. В точке бифуркации система выбирает один из альтернативных аттракторов: развитие (верхняя траектория) или деградация (нижняя траектория) [3; 8]. В точке бифуркации малое управляющее воздействие может «направить» систему к желаемому аттрактору. Это открывает возможности для эффективного управления в кризисных ситуациях: управленческие ресурсы следует концентрировать именно в критические периоды.

5. Методология управления

Предлагаемая последовательность внедрения нелинейного подхода изложена в таблице 3.

Таблица 3. Этапы внедрения нелинейного подхода в управление ОТС

Этап	Содержание	Инструменты	Результат
Диагностика	Оценка устойчивости, выявление критических параметров	Анализ временных рядов, мониторинг рисков	Карта уязвимостей
Моделирование	Формирование сценариев нелинейного развития	Системная динамика, агентные модели	Модель траекторий
Проектирование	Выбор целевых аттракторов	Сценарное планирование, дорожные карты	Пакет решений
Внедрение	Проведение малых проверяемых интервенций	Пилоты, экспериментирование, agile-подходы	Адаптированная конфигурация
Мониторинг	Отслеживание слабых сигналов и обратных связей	Дашборды, индикаторы раннего предупреждения	Корректировка стратегии

По данным таблицы 3 методология имеет циклический характер: этап мониторинга формирует новую информационную базу для диагностики. Принципиально важным является отказ от единственного жёсткого прогноза в пользу набора сценариев и регулярной корректировки решений. Такой подход позволяет использовать неопределённость не только как источник риска, но и как источник вариантов развития [7; 12].

6. Практические рекомендации

Во-первых, организации целесообразно создавать систему раннего предупреждения, включающую показатели технологических, кадровых, финансовых и рыночных возмущений. Во-вторых, необходимо выделять критические параметры, изменение которых способно перевести систему в другое состояние: уровень резервов, скорость принятия решений, качество коммуникаций, технологическая зависимость.

В-третьих, вблизи предполагаемой точки бифуркации рекомендуется проводить ограниченные эксперименты: пилотные проекты, сценарные сессии, А/В-тестирование решений, временные кросс-функциональные команды. Их задача состоит не в имитации полного контроля над системой, а в поиске

резонансного воздействия, позволяющего направить развитие к целевому аттрактору [6; 13].

Заключение

Применение теории хаоса, теории катастроф и синергетики расширяет возможности управления развитием сложных организационно-технических систем. Данные концепции позволяют анализировать не только устойчивые режимы, но и моменты качественных переходов, когда традиционные инструменты планирования дают ограниченный результат.

Предложенная методология включает диагностику неустойчивости, моделирование сценариев, проектирование целевых аттракторов, проведение малых управленческих интервенций и непрерывный мониторинг. Её практическая ценность состоит в усилении адаптивности управления и более обоснованной работе с рисками и возможностями, возникающими в условиях нелинейной динамики.

Литература

1. Чечурина М. Н. Теоретические подходы к исследованию управления инновационным развитием сложных экономических систем // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14. № 1. С. 12–16.
2. Пригожин, И., и Стенгерс, И. *Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой*. Нью-Йорк: Bantam Books, 1984.
3. Титова О. А. Применение теории катастроф в рамках новой парадигмы менеджмента // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2016. № 3. DOI: 10.12737/17061.
4. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики: синергетическое мировидение. М.: Либроком, 2010.
5. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами. М.: Наука, 2003.
6. Флейк М. Понятие, возможности и ограничения синергетического подхода в управлении на предприятии // Advanced Engineering Research. 2011. № 4.

7. Сурина А. В., Туккель И. Л., Григорьева А. В. Методы теории детерминированного хаоса в адаптивном управлении инновационным процессом // Инновации. 2025. № 2 (304). С. 30–37.

8. Постон, Т., и Стюарт, И. *Теория катастроф и её применение*. Лондон: Pitman, 1978.

9. Хакен, Х. *Синергетика: введение*. Берлин: Springer-Verlag, 1977.

10. Мэй, Р. М. «Простые математические модели с очень сложной динамикой» // *Nature*. 1976. Т. 261. С. 459–467. DOI: 10.1038/261459a0.

11. Лоренц Э. Н. «Детерминированное непериодическое течение» // Журнал атмосферных наук. 1963. Т. 20. № 2. С. 130–141. DOI: 10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2.

12. Строгац, С. Х. *Нелинейная динамика и хаос: применение в физике, биологии, химии и инженерии*. 2-е изд. Боулдер: Westview Press, 2015.

13. Малинецкий Г. Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. 3-е изд. М.: Либроком, 2009.

Literature

1. Chechurina, M. N. Theoretical Approaches to the Study of Innovation Management in Complex Economic Systems // Bulletin of the Moscow State Technical University. 2011. Vol. 14, No. 1. pp. 12–16.

2. Prigogine, I., & Stengers, I. Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature. New York: Bantam Books, 1984.

3. Titova, O. A. Application of catastrophe theory within the framework of a new management paradigm // Humanities. Bulletin of the Financial University. 2016. No. 3. DOI: 10.12737/17061.

4. Knyazeva, E. N., & Kurdyumov, S. P. Foundations of Synergetics: A Synergetic Worldview. Moscow: Librokom, 2010.

5. Prangishvili, I. V. Entropic and Other Systemic Laws: Issues in the Management of Complex Systems. Moscow: Nauka, 2003.

6. Fleck, M. “The Concept, Possibilities, and Limitations of the Synergetic Approach in Enterprise Management” // *Advanced Engineering Research*. 2011. No. 4.

7. Surina, A. V., Tukkel, I. L., Grigorieva, A. V. “Methods of Deterministic Chaos Theory in Adaptive Management of the Innovation Process” // Innovations. 2025. No. 2 (304). pp. 30–37.

8. Poston, T., & Stewart, I. Catastrophe Theory and Its Applications. London: Pitman, 1978.

9. Haken, H. Synergetics: An Introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1977.

10. May, R. M. “Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics” // *Nature*. 1976. Vol. 261. pp. 459–467. DOI: 10.1038/261459a0.

11. Lorenz, E. N. “Deterministic Nonperiodic Flow” // *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1963. Vol. 20. No. 2. pp. 130–141. DOI: 10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2.

12. Strogatz, S. H. *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. 2nd ed. Boulder: Westview Press, 2015.

13. Malinetsky, G. G. *Chaos. Structures. Computational Experiment*. 3rd ed. Moscow: Librokom, 2009.