

**Ключевые слова:**

финансовая структура,  
фрактальная фабрика,  
самоорганизация,  
фрактоид,  
фрактальная алгебра

**А. С. Семенов**, к. ф.-м. н., доцент кафедры вычислительной математики и программирования Московского авиационного института (государственного технического университета)  
(e-mail: [semenov\\_alex@yahoo.com](mailto:semenov_alex@yahoo.com))

**Л. Н. Чернышов**, к. ф.-м. н. доцент кафедры автоматизированной обработки информации Академии бюджета и казначейства Минфина России  
(e-mail: [levchern@gmail.com](mailto:levchern@gmail.com))

# Проектирование структур финансовых организаций на основе фрактоидов

*Организационная структура любого предприятия в условиях рыночной экономики должна обладать достаточной гибкостью и маневренностью, чтобы быстро реагировать на изменения конъюнктуры и различных внешних условий. От гибкости структуры зависят эффективное управление и стратегическое развитие. Это в полной мере относится и к финансовым организациям.*

В начале 90-х годов Ханс-Юрген Варнеке в книге «Революция в предпринимательской культуре»<sup>1</sup> предложил модель фрактальной фабрики, основанной на теории фракталов<sup>2</sup>. Ключевая идея заключалась в особой организации предприятия, включающей самоорганизующиеся динамические подразделения внутри компании, которые работают на ее цели и связаны информационными потоками. Такая организация распространяется на все уровни, вплоть до отдельных сотрудников.

Структура фрактальной фабрики относится к классу адаптивных структур — организационных структур, которые могут модифицироваться в соответствии с изменением внешней среды и потребностями самой фирмы<sup>3</sup>.

В работах А. С. Семенова (см. библиографию) предложена математическая модель на основе так называемых фрактоидов. Эта модель может служить основой архитектуры информационной системы, предназначенной для управления организации с чертами фрактальной фабрики. В рамках таких информационных систем можно было бы проводить моделирование и проектирование организационных и других структур с целью их оптимизации.

В экономике предприятий различаются различные виды структур: линейные, функциональные, дивизиональные, продуктовые и др.<sup>4</sup>, отражающие как бюрократическую

<sup>1</sup> Варнеке Х.-Ю. Революция в предпринимательской культуре. Фрактальное предприятие / пер. с нем. — М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 1999.

<sup>2</sup> Кроновер Р. М. Фракталы и Хаос в динамических системах. Основы теории. — М.: Постмаркет, 2000.

<sup>3</sup> Экономика фирмы: учебник / под общ. ред. проф. Н. П. Иващенко. — М.: ИНФРА-М, 2008.

<sup>4</sup> Там же.

структуру организации, так и структуру какого-либо аспекта ее деятельности. Цель данной работы — оценить применимость подхода, основанного на фрактоидах, к финансовым структурам<sup>5</sup>, которые являются основными для финансовых организаций. Другими словами, получить ответ на вопрос «возможна ли фрактальная финансовая организация?». Такое ограничение обуславливается тем, что проектирование в достаточном объеме структуры финансовой организации представляет собой относительно более простую задачу, чем проектирование структуры организации, занимающейся материальным производством. Поэтому более простой будет и апробация предлагаемой технологии. В современных условиях для банков актуальна задача структурных реорганизаций, что может быть связано не только с «малозффективной работой некоторых убыточных территориальных структур» или с «необходимостью уменьшения расходной части за счет сокращения персонала», но и с «резким усилением позиций конкурирующих банковских групп»<sup>6</sup>.

Автоматизированные информационные системы (АИС) для поддержки деятельности организаций разрабатываются и внедряются с ориентацией на функциональную организацию, представляющую, как правило, жесткую иерархическую структуру, характеризующуюся многочисленными взаимосвязями между системными компонентами. Автоматизация деятельности позволяет улучшить организационную структуру и выполнение бизнес-процессов.

Однако новая адаптация при изменившихся внешних условиях или усовершенствование процессов в расчете на перспективу становятся невероятно долгими, поэтому перед реализацией АИС, как правило, проводятся анализ и оптимизация бизнес-процессов и структур. Но такой подход делает возможным эффективное использование системы лишь на относительно короткий период, так как структура оптимизируется только на момент реализации.

В связи с меняющимися внешними и внутренними факторами достаточно трудно поддерживать необходимую в данных условиях адаптацию процессов и структур, автоматизацию планирования и управления организацией.

### **Принципиально новым подходом к организации управления является подход, основанный на фрактальной фабрике.**

Для моделирования хаотично (турбулентно) изменяющихся и самоорганизующихся явлений был разработан аппарат фракталов, позволяющий масштабировать структуры. Вначале он применялся Бенуа Б. Мандельбротом в геометрии для описания структур: линий, плоскостей и различных геометрических фигур. Основы своей фрактальной геометрии он изложил в 1987 г., назвав объекты этой геометрии «фракталами» (от лат. *fractus* — дробный, фрагментированный).

Фрактал — термин, означающий геометрическую фигуру, обладающую свойством самоподобия, то есть составленную из нескольких частей, каждая из которых подобна фигуре в целом. В такой фигуре части воспроизводятся не только в точном масштабе, но также и с некоторыми постоянными пропорциями или коэффициентами. Это позволяет математически рассмотреть фрактальные природные формы: поверхности разлома металлов, горные образования, береговые линии.

Фрактальные множества возникают при изучении некоторых итеративных процессов. Пусть  $f(z)$  — некоторая функция комплексного переменного. Рассмотрим последовательность  $z_0, z_1 = f(z_0), z_2 = f(z_1), \dots$ . Множество точек на плоскости, соответствующих

---

<sup>5</sup> Карпов А. Е. Финансовая структура компании. Кн. 4. — М.: Результат и качество, 2006.

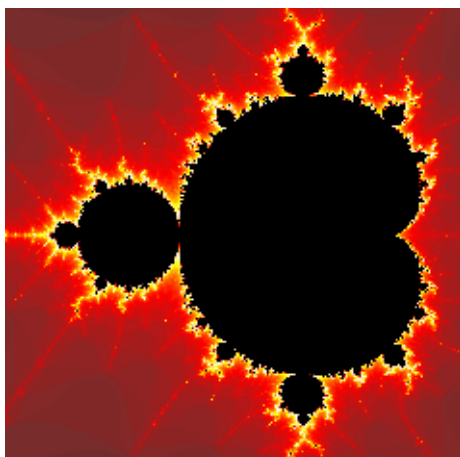
<sup>6</sup> Лобанова Т. Возможности организационных изменений банковских структур / Сайт группы компаний «Топ менеджмент консалт» ([www.tmconsult.ru](http://www.tmconsult.ru)).

этим комплексным числом, может вести себя по-разному: либо уходить в бесконечность, либо стремиться к некоторым точкам, называемым аттракторами (динамическим точкам равновесия)<sup>7</sup>. Из значений параметров функции, от которых зависит поведение последовательности, и образуется фрактал.

Самый известный пример фрактала — множество Мандельброта, которое получается для процесса, заданного функцией  $f(z) = z^2 + c$ . Область, образованная точками  $c$ , для которых последовательность ограничена, образует множество Мандельброта (см. рис. 1).

Рисунок 1

### Множество Мандельброта для процесса $z \rightarrow z^2 + c$



На рисунке видно, как отдельные части фигуры повторяются в уменьшенном масштабе. Теория фракталов опирается на геометрию и теорию размерности и применяется в различных областях: сжатие изображений, виртуальная реальность, описание телекоммуникационных сообщений и др. Фракталы присутствуют в бизнес-процессах, бизнес-модулях, в производственной сегментации и в клеточных производственных структурах. В широком смысле фракталом может называться любой объект, обладающий свойством самоподобности своих частей.

Фрактоид — это фрактал, для элементов которого определены некоторые операции и отношения (взаимосвязи). Одна из операций — операция самоподобия, результатом которой является элемент, подобный исходному. Набор операций и отношений образует фрактальную алгебру. Фрактоид обладает свойствами фракталов, предфрактальных графов и топологически совместим с вычислительными сетями<sup>8</sup>.

Рассмотрим, как возникают фрактальные структуры в бизнес-процессах. Бизнес-процесс производственной системы вне зависимости от отрасли, объема и целей, развивается по следующему сценарию:

**Шаг 1.** Возникает новая идея специализации бизнеса — новый продукт, услуга или расширение уже существующего производства.

**Шаг 2.** Инвестиция — денежные средства необходимы для становления бизнеса и инвестиции в новую идею.

**Шаг 3.** Производство — после создания материально-технической базы, закупки сырья (товаров) начинается этап производства (или организации сбытовой цепочки,

---

<sup>7</sup> Кроновер Р. М. *Фракталы и Хаос в динамических системах. Основы теории.* — М.: Постмаркет, 2000.

<sup>8</sup> Семенов А. С. *Теория фрактоидов и моделирование систем (доклад).* Международная конференция «Математические теории систем МТС-2009», Москва. — 2009.

если деятельность является торговой), либо расширение предприятия и производство нового продукта, услуги.

**Шаг 4.** Выход на рынок — начинается сбыт продукции и ее маркетинговое продвижение, либо сбыт продукции (услуги) в большем объеме.

**Шаг 5.** Повторение шагов, начиная с шага 1.

Аналогичный сценарий возможен и для финансовой организации, например, банка, который решил организовать новый вид услуг, профинансировать какое-либо предприятие и т. п. Этот сценарий, повторяясь снова и снова, ведет либо к росту бизнеса, либо к его стагнации — прибыль не увеличивается, либо к падению — прибыль не восполняет инвестиции.

Если построить подходящую модель, задав некоторые исходные данные и правила преобразования состояния бизнеса в пределах одной итерации, то можно прогнозировать будущее состояние. Это будет похоже на динамический процесс, в результате которого возникают фракталы. Динамика процесса может показать перспективность бизнеса и правильность принимаемых управленческих решений. Исчезновение эффекта «сжатия» будет свидетельствовать о низком риске «распада» модели, означать, что в реальном бизнесе идет поиск новых концепций, новых точек приложения усилий и новых идей.

«Распад» модели свидетельствует об отсутствии у бизнеса перспектив и близости банкротства. Если модель находится в динамическом равновесии, то бизнес не развивается, хотя и может иметь прибыль. В статическом равновесии прибыль полностью покрывает все издержки, связанные с бизнес-процессом.

Анализ в таких моделях не требует глубоких исследований исторической ретроспективы, нужны лишь знания последних шагов и их последствий. Сопоставление состояния модели с предыдущей динамикой позволяет достаточно точно получить критические точки для анализа и понять, в какой момент интенсивно растут риски. В результате можно предугадать момент, когда следует принимать решения и какие меры необходимо предпринять для предотвращения негативных последствий.

Многие фирмы, административные структуры и организационные единицы стали организовываться на основе комплексного подхода — фрактальной фабрики. В ее основе лежат постоянно развивающиеся закономерности фракталов: самоорганизация, самооптимизация, динамика, высокий уровень мотивации и ответственности всех участвующих в процессе производства.

Однако фрактальная фабрика не содержит полного решения, понятие «фрактал» достаточно абстрактно, чтобы использовать его при построении АИС. С одной стороны, автономные фракталы должны распределенно реализовываться в вычислительных сетях, с другой — должны децентрализованно создаваться высокопроизводительные навигационные и информационные системы, обеспечивающие самостоятельность и компетенцию сотрудников.

На основе фрактоидов в работе вводится новая разновидность фрактальных фабрик. В рамках новой модели рассматриваются вопросы динамического равновесия финансовой структуры, координация действий подразделений при самоорганизации и динамической реструктуризации.

### **КОНСТРУИРОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ФАБРИКИ ИЗ ФРАКТОИДОВ**

Фрактальная фабрика — это комплексный подход с многопрофильной структурой<sup>9</sup>. При моделировании каждой автономной структурной единице организации будет

---

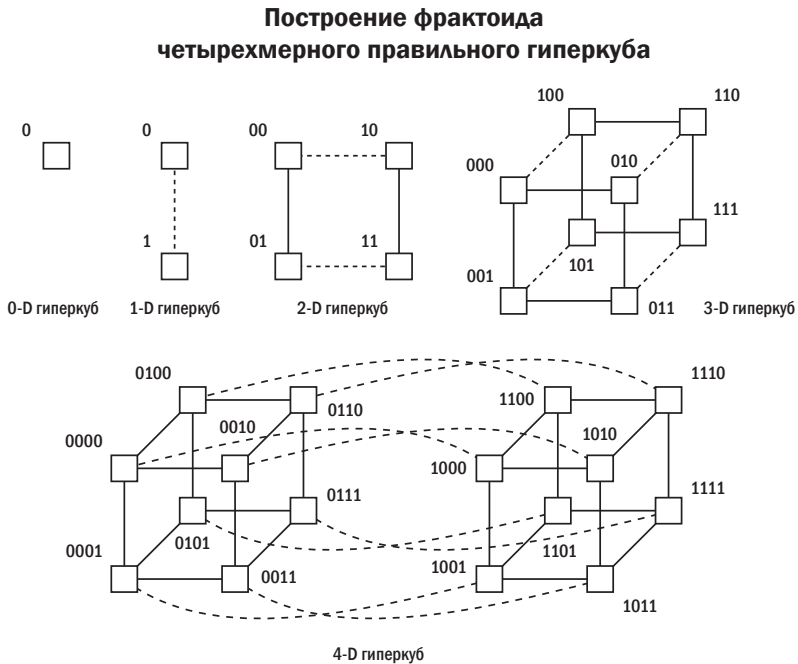
<sup>9</sup> Варнеке Х.-Ю. Революция в предпринимательской культуре. Фрактальное предприятие / пер. с нем. — М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 1999.

соответствовать фрактоид, представленный динамически изменяемым модулем как компонентом АИС. Фрактоидом является как вся модель в целом, так и ее часть, так как часть подобна целому. Для каждого фрактоида однозначно определена цель, которая описывается в терминах состояния динамического равновесия. Фрактоидам присущи следующие свойства: самоподобие, самоорганизация, динамика адаптации и целостность. Рассмотрим каждое из этих свойств подробнее.

**Самоподобие фрактоидов**

Самоподобие интерпретируется как структурная особенность организации и как подобие целей фрактоидов. На рис. 2 приведен пример построения фрактоида четырехмерного гиперкуба. Построение начинается с 0-D гиперкуба, вершине присваивается код 0, затем над вершиной выполняется оператор прототипирования  $\equiv$  и вершине присваивается код 1, обе вершины соединяются коннектором посредством оператора композиции  $+$ , затем над полученной конструкцией выполняются те же операторы и т. д.

Рисунок 2



Совокупность операторов (прототипирования  $\equiv$ , композиции  $+$  и других), выполняемых над самоподобными структурами, названа фрактальной алгеброй<sup>10</sup>.

Согласно общей концепции фрактальной фабрики каждый фрактоид на фабрике имеет свою задачу, способен к предпринимательской деятельности и самостоятельно решает поставленные задачи. К таким задачам относятся: качество и количество произведенных изделий (услуг), экономное использование ресурсов, надежность и скорость исполнения заказа.

Фрактоиды, имеющие идентичные цели, входные и выходные параметры, могут быть по-разному структурированы внутри системообразующего фрактоида. Были

<sup>10</sup> Семенов А. С. Фрактальная алгебра как основа фрактальной парадигмы программирования // Изв. РАН. Информационные технологии и Вычислительные системы. — 2006. — № 2. — С. 64–70.

исследованы следующие структуры: линейные, древовидные, решетки и гиперкубы. Каждая вершина гиперкуба может быть раскрыта в виде вложенного в него фрактоида (рис. 2).

Фрактоид не обязательно должен принадлежать фабрике, он может соответствовать как филиалу основной организации, так и ее дочерней фирме и быть полностью самостоятельным.

### **Самоорганизация фрактоидов**

Самоорганизация фрактоидов распространяется на оперативный, тактический и стратегический уровни и подразумевает свободу в организации и выполнении задач, выбор собственных методов решения проблемы, включая самооптимизацию усовершенствования процесса. Для самоорганизации характерны:

- оперативность: последовательность операций оптимально организуется с помощью соответствующих методов;
- тактика и стратегия: в динамичном процессе фрактоиды ставят и формулируют свои задачи, а также заботятся о внутренних и внешних отношениях. Фрактоиды могут преобразовываться, возникать вновь и распадаться.
- объединение в сеть посредством высокопроизводительной информационно-коммуникационной системы. Фрактоиды сами определяют вид и объем своего доступа к данным.

Обычно процесс структурирования фабрики или производственной системы внешний и возникает при недостатках, которые уже нельзя не заметить, а планировать изменения архитектуры поздно. Процессы образования фрактальных архитектур динамичны, жизнеспособны и обеспечивают постоянную модернизацию.

Глобальные цели реализуются через локальные. Фрактоид обращается к поддержке других фрактоидов, если не в состоянии выполнить задачу самостоятельно. Для сохранения целостности выполнения задач такие обращения минимальны. Информация об организации не монополизирована и доступна всем.

### **Динамика адаптации и жизненный цикл фрактоидов**

Динамика адаптации фрактоидов к влияниям окружающей среды проявляется в их реконфигурации. Например, модель развития: гиперкуб 0-D реконфигурируется в гиперкуб 1-D, затем в гиперкуб 2-D и так далее; модель сжатия: гиперкуб 2-D «схлопывается» в гиперкуб 1-D (рис. 2).

Механизм динамического структурирования опирается на анализ различных взаимосвязей внутри фрактоидов и между ними. Диапазон структурирования расширяется по сравнению с традиционными подходами. Целевая система складывается из непротиворечивых целей фрактоидов, служащих для достижения общих целей предприятия. Конечные результаты постоянно измеряются и оцениваются.

Фрактоиды взаимосвязаны и предоставляют друг другу услуги, поддерживая внутреннюю и внешнюю конкуренцию для решения своей задачи. Каждый способен устанавливать альтернативные связи на основе рыночного мышления.

Жизненный цикл — это создание, разрушение и функционирование фрактоида. Функционирование означает умение постоянно находить и использовать факторы для достижения успеха на основе сильных сторон производственной единицы (умения, навыки). Динамика адаптации используется для поиска факторов успеха.

На умение фрактоида успешно действовать в изменяющихся условиях влияют внутренние и внешние факторы.

Внутренние факторы: затраты, производственный потенциал, научные исследования и разработки, эффективность управления, маркетинговый потенциал и сбыт, финансовый потенциал, логистика, местоположение, кадры, программа производства и продаж.

Внешние факторы: рынки сбыта, места закупки сырья и материалов, конкуренция, законодательство.

В процессе жизненного цикла может возникнуть необходимость создания нового фрактала. Критерием является прочность внутренних связей и соответствие их внешним. Если внутренние взаимосвязи (поток материальных ресурсов, кадры, информация) сильнее внешних, то фрактал создается, иначе выполняется адаптация. Например, при использовании новых технологий требуется адаптация структуры в процессе интеграции.

При создании фракталов внутри предприятия учитывается ряд организационных критериев: продукт, способы и средства производства, потребность в информации и обмене данными, поток материальных ресурсов, персонал, потребности в обучении и приобретении опыта.

Для банков и других финансовых организаций, которые занимаются производством услуг, характерны такие же внешние и внутренние факторы с учетом особенностей их деятельности. Вместо рынка сбыта — рынок услуг, вместо закупки сырья — финансовые заимствования и т. д.

В зависимости от ориентации могут быть реализованы следующие принципы организации предприятия, выраженные в пространственном расположении функциональных слоев:

- ориентация на средства и способы производства ведет к классическому цеховому принципу производства, при котором деятельность суммируется с целью простого накопления знаний и опыта;
- ориентация на персонал и/или задачи выражается в образовании производственных ячеек или сегментов. Предприятия, для которых важнейшим ресурсом являются способности сотрудников, ориентируются на свое внешнее и внутреннее содержание;
- при ориентации на снижение издержек в массовом производстве организационным критерием является продукт. Вся структура предприятия или фабрики приспособлена под этот продукт. Во фрактальной фабрике продукт не выделяется в качестве первичного фактора, так как с самого начала определяются основополагающие решения.

### Целостность фракталов

Целостность подразумевает функционирование фрактальной фабрики как связанного целого и достигается процессом координации между фракталами, а механизм наследования (реализуемый оператором прототипирования), гарантирует последовательность целей.

Принцип делегирования полномочий гарантирует командную работу фракталов, а также усиливает распределение ответственности и способности: модули более высокого уровня реализуют задачи, которые не могут быть реализованы фракталами более низкого уровня.

Фрактальная фабрика выполняет централизованные функции: временную поддержку планирования ресурсов, накопление специальной информации, которую фракталы не могут хранить постоянно. Взаимодействие между фракталами характеризуется индивидуальной динамикой и максимальной способностью адаптироваться и реагировать на влияния их окружающей среды. Полученная фракталами информация используется для изменения шести уровней окружающей среды: культурной, стратегической, социальной, финансовой, информационной и технологической.

Во фрактальной фабрике реализуется информационная и навигационная система, например, маршрутизация по гиперкубу в хемминговом пространстве, когда вершины помечены кодом, отличающимся на единицу (рис. 2). Используя навигационную

систему в процессе функционирования, фрактоид может постоянно проверять целевые и смежные области для переоценки своей позиции и развития и при необходимости корректировать их.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование данной концепции фрактальной фабрики связано с необходимостью построения производственной функции пригодности<sup>11</sup>, отслеживания ее поведения и регулярной оценки стоимости бизнеса в терминах пригодности, а не в терминах бухгалтерского учета и отчетности, вне зависимости от используемых стандартов.

Для анализа и оптимизации деятельности финансовых организаций может быть использовано имитационное моделирование, поддержанное подходящими программными средствами. Моделированию подлежат субъекты финансовой деятельности и их элементы, финансовые потоки и т. п. Но при этом, как правило, выбирается фиксированная структура с жесткими связями между элементами. Подход, основанный на фрактоидах, может служить базой для структурного моделирования, целью которого является поиск оптимальной структуры финансовой организации.

### Библиография

1. Варнеке, Х.-Ю. Революция в предпринимательской культуре. Фрактальное предприятие / пер. с нем. — М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 1999. — 280 с.
2. Кроновер, Р. М. Фракталы и Хаос в динамических системах. Основы теории. — М.: Постмаркет, 2000.
3. Экономика фирмы: учебник / под общ. ред. проф. Н. П. Иващенко. — М.: ИНФРА-М, 2008. — 528 с.
4. Карпов, А. Е. Финансовая структура компании. Кн.4. — М.: Результат и качество, 2006.
5. Лобанова, Т. Возможности организационных изменений банковских структур / [Электронный ресурс]: сайт группы компаний «Топ-менеджмент консалт». — Режим доступа: [www.tmconsult.ru](http://www.tmconsult.ru).
6. Семенов, А. С. Теория фрактоидов и моделирование систем (доклад). Международная конференция «Математические теории систем МТС-2009», Москва. — 2009.
7. Семенов, А. С. Построение класса фрактальных систем по шаблону на примере дерева Фибоначчи // Изв. РАН. Информационные технологии и Вычислительные системы. — 2005. — № 2. — С. 10–17.
8. Семенов, А. С. Фрактальная алгебра как основа фрактальной парадигмы программирования // Изв. РАН. Информационные технологии и Вычислительные системы. — 2006. — № 2. — С. 64–70.
9. Семенов, А. С. Фрактальное построение  $n$ -мерных гиперкубовых архитектур в структурном пространстве // Изв. РАН. Информационные технологии и Вычислительные системы. — 2007. — № 2. — С. 42–50.
10. Семенов, А. С. Фрактальные вычисления (доклад). Труды одиннадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-08, Дубна. — 2008.

---

<sup>11</sup> Семенов А. С. Фрактальное построение  $n$ -мерных гиперкубовых архитектур в структурном пространстве // Изв. РАН. Информационные технологии и Вычислительные системы. — 2007. — № 2. — С. 42-50.